

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

**Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y
Telecomunicaciones**



TESIS

**“DISEÑO DE RED DE RADIOENLACES VÍA
MICROONDAS PARA ACCESO AL SERVICIO DE
INTERNET A LOS PUEBLOS MÁS ALEJADOS DEL
DISTRITO DE TAMBOGRANDE”**

Presentado por:

Br. Angel Jossep Córdova Sandoval

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO ELECTRÓNICO Y
TELECOMUNICACIONES**

**Línea de investigación: Informática, Electrónica y
Telecomunicaciones**

Sub línea de investigación: Comunicaciones

Piura - Perú

Año 2019

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones



“DISEÑO DE RED DE RADIOENLACES VÍA MICROONDAS PARA ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET A LOS PUEBLOS MÁS ALEJADOS DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE”

TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES

Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez
ASESOR

Br. Angel Jossep Cordova Sandoval
AUTOR

Piura - Perú

Año 2019

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS

Yo: Angel Jossep Córdova Sandoval con DNI N° 75531688, Bachiller de Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones, de la Facultad de Ciencias y domiciliado en la av. Grau 1800 MZ-D LT-12, Conjunto Habitacional Villa California, Castilla - Piura, Celular: 957627035.

Email: angel95_4@hotmail.com

DECLARO BAJO JURAMENTO: que la tesis que presento es auténtica e inédita, no siendo copia parcial ni total de una tesis desarrollada, y/o realizada en el Perú o en el Extranjero, en caso contrario de resultar falsa la información que proporciono, me sujeto a los alcances de lo establecido en el Art. N° 411, del código Penal concordante con el Art. 32° de la Ley N° 27444, y Ley del Procedimiento Administrativo General y las Normas Legales de Protección a los Derechos de Autor.

En fe de lo cual firmo la presente.

Piura, febrero del 2019



Angel Jossep Córdova Sandoval

Artículo 411.- El que, en un procedimiento administrativo, hace una falsa declaración en relación a hechos o circunstancias que le corresponde probar, violando la presunción de veracidad establecida por ley, será reprimido con pena privativa de libertad no menor de uno ni mayor de cuatro años.

Art. 4. Inciso 4.12 del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales –RENATI Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA

Facultad de Ciencias

Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica y

Telecomunicaciones

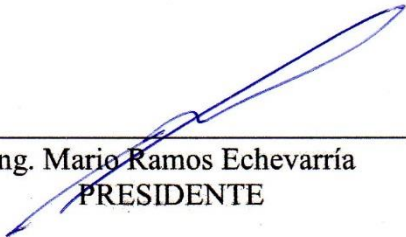



“DISEÑO DE RED DE RADIOENLACES VÍA MICROONDAS PARA ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET A LOS PUEBLOS MÁS ALEJADOS DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE”


TESIS

Para optar el título profesional de:

INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES


Ing. Mario Ramos Echevarría
PRESIDENTE


Mg. Franklin Barra Zapata
SECRETARIO


Mg. Juan Manuel Jacinto Sandoval
VOCAL

Piura - Perú

Año 2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA FACULTAD DE CIENCIAS



"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA CORRUPCIÓN Y LA IMPUNIDAD"

ACTA DE SUSTENTACIÓN 015-2019-UI-FC-UNP

FACULTAD DE CIENCIAS

Los Miembros del Jurado Calificador que suscriben, reunidos para evaluar la Tesis denominada **"DISEÑO DE RED DE RADIOENLACES VÍA MICROONDAS PARA ACCESO AL SERVICIO DE INTERNET A LOS PUEBLOS MÁS ALEJADOS DEL DISTRITO DE TAMBOGRANDE"**, presentado por el Señor Bachiller **CORDOVA SANDOVAL ÁNGEL JOSSEP**, con el asesoramiento del **Dr. Carlos Enrique Arellano Ramírez**; oídas las observaciones y respuestas a las preguntas formuladas, y de conformidad al Reglamento de Tesis para obtener el Título Profesional en la Facultad de Ciencias, lo declaran:

APROBADO (X)

DESAPROBADO ()

Con la mención de:

MUY BUENO

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo de Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**.

(X) En consecuencia, queda en condición de ser ratificado por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional de Piura, y recibir el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO Y TELECOMUNICACIONES**; después que el sustentante incorpore la sugerencia del Jurado Calificador.

Piura, 18 febrero del 2019.

Ing. **MARIO AGUSTO RAMOS ECHEVARRÍA**
PRESIDENTE DE JURADO DE TESIS

MSc. **FRANKLIN BARRA ZAPATA**
SECRETARIO DE JURADO DE TESIS



MSc. **JUAN MANUEL JACINTO SANDOVAL**
VOCAL DE JURADO DE TESIS

Campus Universitario - Urb. Miraflores S/N. Castilla
PIURA - PERU

DEDICATORIA

A mi familia por el apoyo incondicional durante todo el trayecto de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A esta casa de estudios por permitirme ser parte de ella y a su vez contar con esta especialidad en ingeniería que decidí estudiar.

A todas las personas y programas educativos que formaron parte de mi desarrollo profesional, a mis docentes y compañeros de estudio.

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se diseñó una red de radioenlaces vía microondas que permite el acceso de servicio de internet a las localidades más alejadas del distrito de Tambogrande, para los pueblos que se han considerado como seleccionados se tomó en cuenta las carencias en servicios básicos, vías de acceso y educación con las que cuentan, para ello se recogió datos de fuentes confiables como INDECI y la plataforma distrital de defensa civil del distrito de Tambogrande.

La estructura de la red está constituida por un nodo matriz o principal quien suministra el servicio, seguida de un nodo intermedio y finalmente de cuatro nodos terminales, para la comunicación de estos nodos se han aplicado los enlaces PTP(punto a punto) quienes están conformados de equipos conectorizados PTP650 que se acoplan a antenas de diferentes ganancias acorde a las necesidades de cada enlace; los nodos terminales e intermedios cuentan con equipos sectoriales quienes se encargan de brindar el servicio a los usuarios finales, a este tipo de enlaces se les llama PMP(punto multi punto) quiere decir que a partir de este equipo se brinda el servicio a muchos usuarios al mismo tiempo propagando la señal en todo el sector del pueblo a coberturar haciendo uso del equipo ePMP1000 y los usuarios captan la red a través del equipo ePMP force180 y ePMP force200, todos los equipos mencionados corresponden a la marca cambium networks.

Se comprobó el rendimiento y disponibilidad de los radioenlaces en el software Link Planer, en él se analizó si existe línea de vista en los enlaces, se ingresó alturas de obstáculos (árboles, estructuras, etc.) y datos técnicos de los equipos. Como requerimiento mínimo que se aplicó para coberturar a cada pueblo es contar con un throughput total de 50 Mbps y una disponibilidad de 99,9995%.

Palabras clave: Throughput, microondas, margen de desvanecimiento, ancho de banda y disponibilidad.

ABSTRACT

In this research project, a microwave radio links network was designed that allows access to internet service to the most remote villages of the Tambogrande district, for the villages that have been considered as selected were taken into account the shortcomings in basic services, access roads and education with which they have, for this data was collected from reliable sources such as INDECI and the civil defense district platform of the district of Tambogrande.

The structure of network consists for a matrix node or main node that provides the service, followed by an intermediate node and finally four terminal nodes, for the communication of these nodes the PTP (point to point) links have been applied, who are made up of PTP650 connectorized equipment that is coupled to antennas of different gains according to the needs of each link; the terminal and intermediate nodes have sectoral teams that are responsible for providing the service to end users, this type of links are called PMP (point multi point) means that from this equipment the service is provided to many users at the same time by propagating the signal throughout the village sector to cover using the ePMP1000 equipment and users capture the network through the ePMP force180 and ePMP force200 equipment, all the equipment mentioned corresponds to the brand cambium networks.

The performance and availability of the radio links in the Link Planer software was checked, it was analyzed if there is a line of sight in the links, height of obstacles (trees, structures, etc.) and technical data of the equipment were entered. As a minimum requirement that was applied to cover each town is to have total throughput of 50Mbps and an availability of 99.9995%.

Keywords: Throughput, microwave, fade margin, broadband and availability.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
I ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA	2
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	2
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	4
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4.1. Justificación de la investigación	4
1.4.2. Importancia de la investigación	5
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1. Objetivo general	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
1.6. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	6
II MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7
2.2. BASES TEÓRICAS	11
2.2.1. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS EN EL ESPACIO.....	11
2.2.2. FENÓMENOS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	13
2.2.2.1. Absorción	13
2.2.2.2. Reflexión	13
2.2.2.3. Refracción	14
2.2.2.4. Difracción.....	15
2.2.3. ZONA DE FRESNELL.....	16
2.2.4. LINK PLANER	17
2.2.5. ANTENA	18
2.2.6. MODULACIÓN	23
2.2.6.1. 16QAM	23
2.2.6.2. 64QAM	25
III MARCO METODOLÓGICO	26
3.1. Enfoque	26
3.2. Diseño	26
3.3. Nivel	26
3.4. Sujetos de la investigación.....	26
3.5. Métodos y procedimientos.....	26
3.6. Técnicas e Instrumentos.....	27
3.7. Aspectos éticos.....	28

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1. ESTADO ACTUAL Y ELECCIÓN DE LOS PUEBLOS A COBERTURAR EN EL DISTRITO DE TAMBOGRANDE.....	29
4.1.1. DISTRITO DE TAMBOGRANDE	29
4.1.2. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL ENTORNO	30
4.1.3. ELECCIÓN DE PUEBLOS A COBERTURAR	30
4.2. DISEÑO DE LA RED DE RADIOENLACES.....	33
4.2.1. UBICACIÓN DE LOS NODOS.....	33
4.2.1.1. Ubicación del nodo matriz o distrital	33
4.2.1.2. Ubicación nodo intermedio	33
4.2.1.3. Ubicación de nodos terminales.....	33
4.2.1.4. Ubicación de los pueblos optimizados	34
4.2.2. DISEÑO DE LOS RADIOENLACES PTPS (POINT TO POINT).....	36
4.2.2.1. Nodo Tambogrande to Nodo Santa julia y bedia	36
4.2.2.2. Nodo Santa julia y bedia to Nodo San miguel de seren	36
4.2.2.3. Nodo Santa julia y bedia to Nodo Mayta capac	36
4.2.2.4. Nodo Tambogrande to Nodo El porvenir.....	37
4.2.2.5. Nodo Tambogrande to Nodo Guaraguaos bajo.....	37
4.2.3. DISEÑO DE LOS RADIOENLACES PMPS (POINT MULTI POINT)....	38
4.2.3.1. Nodo Santa julia y bedia to I.E N°15114	38
4.2.3.2. Nodo San miguel de seren to I.E N° 15192	39
4.2.3.3. Nodo Mayta Capac to I.E N°15335.....	39
4.2.3.4. Nodo Guauraguaos bajo to I.E N°15304 y CC.SS de Guaraguaos alto (Pueblo optimizado).....	40
4.2.3.5. Nodo El porvenir to CC.SS de El Porvenir y I.E N°14014 de Nueva Esperanza (Pueblo optimizado)	41
4.2.3 DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE RADIOENLACES	42
4.2.3.1 NODO TAMBOGRANDE to NODO SANTA JULIA Y BEDIA(PTP).....	42
4.2.3.2 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO NODO SAN MIGUEL DE SEREN(PTP).....	47
4.2.3.3 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO NODO MAYTA CAPAC (PTP).....	51
4.2.3.4 NODO TAMBOGRANDE TO NODO GUARAGUAOS BAJO (PTP)	55
4.2.3.5 PLAN DE FRECUENCIAS PARA RED PTP	59
4.2.3.6 DIAGRAMA-PLAN DE FRECUENCIAS PARA RED PTP	60
4.2.3.7 NODO SANTA JULIA Y BEDIA to INSTITUCIÓN DUCATIVA N°15114 (PMP)	61
4.2.3.8 NODO SAN MIGUEL DE SEREN to INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15192 (PMP).....	65
4.2.3.9 NODO MAYTA CAPAC TO INSTITUCIÓN EDICATIVA N°15335 (PMP).....	69
4.2.3.10 NODO GUARAGUAOS BAJO (PMP)	73

4.2.3.10.1 NODO GUARAGUAOS BAJO TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15304 (PMP).....	73
4.2.3.10.2 NODO GUARAGUAOS BAJO TO CENTRO DE SALUD DE GUARAGUAOS ALTO (PMP).....	77
4.3 RESUMEN DE DISEÑO	81
4.3.1 TABLAS DE RESUMEN DE RADIOENLACES PTPs.....	81
4.3.1.1 NODO TAMBOGRANDE TO NODO SANTA JULIA Y BEDIA	81
4.3.1.2 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO SAN MIGUEL DE SEREN	82
4.3.1.3 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO MAYTA CAPAC.....	82
4.3.1.4 NODO TAMBOGRANDE TO GUARAGUAOS BAJO	83
4.3.1.5 NODO TAMBOGRANDE TO EL PORVENIR	84
4.3.2 TABLAS DE RESUMEN DE RADIOENLACES PMPs.....	85
4.3.2.1 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15114.....	85
4.3.2.2 NODO SAN MIGUEL DE SEREN TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15192.....	85
4.3.2.3 NODO MAYTA CAPAC TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15335	86
4.3.2.4 NODO GUARAGUAOS BAJO TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15304.....	87
4.3.2.5 NODO GUARAGUAOS BAJO TO CENTRO DE SALUD GUARAGUAOS ALTO.....	88
4.3.2.6 NODO EL PORVENIR TO CENTRO DE SALUD EL PORVENIR.....	88
4.3.2.7 NODO EL PORVENIR TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°14014 DE NUEVA ESPERANZA.....	89
4.4 DETALLES DE LA TECNOLOGIA APLICADA	90
4.4.1 TECNOLOGÍA DE RED PTP	90
4.4.1.1 EQUIPOS DE RADIO	90
4.4.1.1.1 PTP650	91
4.4.1.2 ANTENAS	92
4.4.1.2.1 CAMBIUM NETWORKS 4FT DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4505 ..	92
4.4.1.2.2 CAMBIUM NETWORKS 2FT DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4503 ..	93
4.4.1.2.3 FAINI 0.8M LOW PROFILE DUAL-POLAR PARABOLIC HP8-0525D ..	94
4.4.1.2.4 CAMBIUM NETWORKS 3FT HIGH PERFORMANCE DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4509	95
4.4.1.2.5 CAMBIUM NETWORKS 2FT HIGH PERFORMANCE DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4508.....	96
4.4.2 TECNOLOGÍA DE RED PMP.....	97
4.4.2.1 EQUIPOS DE RADIO	97
4.4.2.1.1 EPMP1000.....	97
4.4.2.1.2 EPMP FORCE180.....	98
4.4.2.1.3 EPMP FORCE200.....	100
4.4.2.2 ANTENA.....	101

4.4.2.2.1 EPMP SECTOR ANTENA.....	101
4.4.3 TECNOLOGÍA CAMBIUM NETWORKS.....	102
4.4.2.1 EQUIPOS	102
4.4.2.2 SOFTWARE	103
4.4.2.3 RENDIMIENTO	103
4.4.2.4 PORQUE USAR EQUIPOS CAMBIUM NETWORKS Y DETALLES DEL PROYECTO	104
4.5 PRESUPUESTO	106
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES.....	108
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	109

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Elemento de onda	11
FIGURA 2. Propagación por línea de vista (ITU-R P.452)	12
FIGURA 3. Onda directa y reflejada sobre la superficie terrestre	14
FIGURA 4. Fenómeno de refracción	14
FIGURA 5. Onda directa y reflejada sobre la superficie terrestre	15
FIGURA 6. Primera zona de fresnell	17
FIGURA 7. Simulación de Enlace	18
FIGURA 8. Polarización vertical y Horizontal	19
FIGURA 9. Constelación modulación 16QAM	24
FIGURA 10. Constelación modulación 64QAM	25
FIGURA 11. Mapa de la provincia de Piura y ubicación de Tambogrande.....	29
FIGURA 12. Ubicación de los pueblos a coberturar.....	32
FIGURA 13. Diseño de la red de radioenlaces	35
FIGURA 14. Diseño de los enlaces Point to Point (PTP).	37
FIGURA 15. Diseño de los enlaces Point to Point (PMP).	42
FIGURA 16. Perfil de elevación Enlace Tambogrande to Santa Julia y Bedia	45
FIGURA 17. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Tambogrande to Santa Julia y Bedia	46
FIGURA 18. Perfil de elevación Enlace Santa Julia y Bedia to San Miguel de Seren ...	49
FIGURA 19. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Santa Julia y Bedia to San Miguel de Seren	50
FIGURA 20. Perfil de elevación Enlace Santa Julia y Bedia to Mayta Capac	53
FIGURA 21. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Santa Julia y Bedia to Mayta Capac.....	54
FIGURA 22. Perfil de elevación Enlace Tambogrande to Guaraguaos Bajo	57
FIGURA 23. Diagrama de plan de frecuencias de red PTP	60
FIGURA 24. Perfil de elevación Enlace Santa Julia y Bedia to I.E N°15114 de Santa julia y bedia	63

FIGURA 25. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Santa Julia y Bedia to I.E N°15114 de Santa Julia y Bedia	64
FIGURA 26. Perfil de elevación enlace San miguel de seren to I.E N°15192	67
FIGURA 27. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace San miguel de seren to I.E N°15192	68
FIGURA 28. Perfil de elevación enlace Mayta capac to I.E N°15335	71
FIGURA 29. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Mayta capac to I.E N°15335	72
FIGURA 30. Perfil de elevación enlace Guaraguaos bajo to I.E N°15304.....	75
FIGURA 31. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Guaraguaos bajo to I.E N°15304.....	76
FIGURA 32. Perfil de elevación enlace Guaraguaos bajo to Centro de salud.....	79
FIGURA 33. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Guaraguaos bajo to Centro de salud	80
FIGURA 34. PTP650 integrado	90
FIGURA 35. PTP650 conectorizado.	91
FIGURA 36. 4ft dual-polar parabolics RDH4505	93
FIGURA 37. 2ft dual-polar parabolics RDH4503	94
FIGURA 38. 0.8m dual-polar parabolics THP 08-0525D.	95
FIGURA 39. 3ft dual-polar parabolics RDH4509	96
FIGURA 40. 3ft dual-polar parabolics RDH4508	97
FIGURA 41. ePmP 1000conectorizado - Cambium Networks.....	98
FIGURA 42. ePmP Force180-Cambium Networks	99
FIGURA 43. ePmP Force200-Cambium Networks	100
FIGURA 44. Epmp sector antenna-cambium networks.....	101
FIGURA 45. PMP sector performance.....	103

INDICE DE TABLAS

TABLA 1. Lista de Pueblos con más Necesidades del distrito de Tambogrande	31
TABLA 2. PTP Tambogrande to Santa Julia y Bedia	36
TABLA 3. PTP Santa Julia y Bedia to San Miguel de Seren.....	36
TABLA 4. PTP Santa Julia y Bedia to Mayta Capac	36
TABLA 5. PTP Tambogrande to El Porvenir	37
TABLA 6. PTP Tambogrande to Guaraguaos Bajo	37
TABLA 7. PMP Santa Julia y Bedia to I.E N° 15114.....	38
TABLA 8. PMP San Miguel de Seren to I.E N° 15192	39
TABLA 9. PMP San Mayta Capac to I.E N° 15335	39
TABLA 10. PMP San Miguel de Seren to I.E N° 15304	40
TABLA 11. PMP San Miguel de Seren to Centro de Salud Guaraguaos Alto	40
TABLA 12. PMP El Porvenir to Centro de Salud de El Porvenir	41
TABLA 13. PMP El Porvenir to I.E N° 14014 de Nueva Esperanza	41
TABLA 14. Modulation Mode/Coding schemes PTP650-Cambium networks.....	44
TABLA 15. Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force200 Cambium Networks	62
TABLA 16. Resumen de enlace Tambogrande to Santa julia y bedia	81
TABLA 17. Resumen de enlace Santa julia y bedia to San miguel de seren	82
TABLA 18. Resumen de enlace Santa julia y bedia to Mayta Capac	83
TABLA 19. Resumen de enlace Tambogrande to Guaraguaos Bajo	83
TABLA 20. Resumen de enlace Tambogrande to El porvenir	84
TABLA 21. Resumen de enlace nodo Santa julia y bedia to I.E°15114.....	85
TABLA 22. Resumen de enlace nodo San Miguel de Seren to I.E°15192	86
TABLA 23. Resumen de enlace nodo Mayta Capac to I.E°15335	87
TABLA 24. Resumen de enlace nodo Guaraguaos Bajo to I.E°15304.....	87
TABLA 25. Resumen de enlace nodo Guaraguaos Bajo to CC.SS Guaraguaos Alto	88
TABLA 26. Resumen de enlace nodo El Porvenir to CC.SS El Porvenir	89
TABLA 27. Resumen de enlace nodo El Porvenir to I.E N°14014	89
TABLA 28. Tabla comparativa entre las 3 bandas libres.....	105
TABLA 29. Presupuesto para adquisición del sistema de radioenlaces.....	106

INTRODUCCIÓN

El continuo avance de la ciencia a lo largo del tiempo ha conllevado a un sinnúmero de mejoras en todas las áreas tecnológicas; el rubro de las telecomunicaciones y redes no han sido la excepción mejorando notoriamente en comunicaciones inmediatas y conectividad, hoy en día es una necesidad contar con acceso al servicio de internet, la facilidad con la que permite establecer las comunicaciones a grandes distancias, el desarrollo de las tecnologías de la información y comunicación (TICs), las asistencias remotas por medio de diversos sistemas han permitido que este servicio sea indispensable para empresas, entidades públicas y personas del siglo XXI.

En el Perú generalmente las zonas rurales son las que carecen de este servicio, por lo tanto entidades educativas, centros de salud, comisarias que están dentro de la jurisdicción de los centros poblados, caseríos, etc. se ven limitadas en brindar mejoras en sus servicios presentando dificultades para tener acceso a la información, contando con retardos en agilizar las atenciones y trámites, etc.

La tesis se desarrolló en el distrito de Tambogrande considerando las carencias y niveles de pobreza con los que cuentan sus pueblos, la cantidad de población que aloja y la importancia de desarrollar un proyecto de estas características en este distrito tomando en cuenta que a nivel de la región Tambogrande inyecta un gran flujo económico al país.

En el primer capítulo de este proyecto de tesis se analizaron los problemas y necesidades que tienen los pueblos del distrito de Tambogrande tomando datos estadísticos a la vez considerando la razón e importancia de desarrollar este proyecto en el distrito, en el segundo capítulo se han tomado en cuenta unos proyectos de tesis referidos a telecomunicaciones que fundamentan el desarrollo de este proyecto, también se han asignados definiciones y conceptos a tener en cuenta, el tercer capítulo plasma las características, técnicas y procedimientos que se han aplicado; finalmente el cuarto capítulo está compuesto por estudios aplicados para la elección de los pueblos a coberturar y la realización del diseño de la red de radioenlaces PTP y PMP; simulación, detalles de la tecnología aplicada y presupuesto para la adquisición del sistema.

I ASPECTOS DE LA PROBLEMÁTICA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Según el Ministerio de salud en el reporte emitido en el año 2016 indicó que el distrito de Tambogrande cuenta con una población de 120 022, de las cuales 27 007 habitantes son niños y adolescentes que estudian, por otro lado 67 175 habitantes son jóvenes y adultos, finalmente 25820 son población correspondiente a la tercera edad, gestantes y recién nacidos quienes acuden más a los centros de salud (MINSA, 2016).

Por otro lado, según la plataforma distrital de defensa civil de Tambogrande informó que después de las últimas precipitaciones de lluvias en el norte, múltiples trochas carrozables, canales de riego quedaron inhabilitados; el aumento de los ríos y quebradas arrasaron con cultivos, finalmente se generaron problemas de salud como enfermedades digestivas, bronquiales y endémicas por el aumento de zancudos y falta de agua potable, dentro de los pueblos más afectados se encontraron a Lloque Yupanqui, Guargaros Bajo y Alto, El Porvenir, Santa Julia y Bedia, San Miguel De Serén, Mayta Capac, Nueva Esperanza, entre otros (PLATAFORMA DISTRITAL DE DEFENSA CIVIL TAMBROGRANDE).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) presentó en el año 2015 el mapa de pobreza a nivel de provincias y distritos, de acuerdo con el estudio determinó que existen 110 distritos pobres en el Perú, entre los distritos pobres urbanos con más de 20 hogares, se pudo identificar grupos de pobreza que supera el 40%. Este es el caso de Tambogrande en Piura y El Porvenir en La Libertad (Aníbal Sánchez, Jefe del instituto nacional de estadística – INEI).

El distrito de Tambogrande es uno de los distritos de la provincia de Piura que exporta el 40% de mango y limón a nivel nacional, quiere decir que es uno de los distritos que inyecta alto nivel económico al Perú quien realizó mejoras en su

producción de 5,38 a 6,22 toneladas de mango por hectárea este último año a través del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA).

En la actualidad el Perú ha puesto en marcha diferentes proyectos de fibra óptica que requieren del respaldo de sistemas de radioenlaces vía microondas para concretar el acceso a los pueblos más alejados quienes son los beneficiarios finales con mayor necesidad, dentro de los proyectos que están apostando por llevar estas tecnologías, tenemos a FITEL (Fondo De Inversión De Las Telecomunicaciones), desarrollado por el Estado Peruano, representado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), que tiene como objetivo principal llegar con fibra óptica a nodos de acceso y partir de ahí con enlaces microondas para ofrecer servicios de Banda Ancha a una parte importante de las zonas alejadas de cada provincia del Perú.

Las ventajas de usar enlaces microondas es que para realizar la conexión entre dos o más nodos no se tiene la necesidad de usar cables en vista a su principio básico que es el uso de ondas electromagnéticas, permitiendo la conectividad sin depender de la accesibilidad por la línea donde viajarán los enlaces, gran cantidad de envío de datos y costos bajos, contando con sistemas de comunicación de radio que propagan las señales a través de la atmosfera terrestre permitiendo que se pueda transmitir miles de canales de datos entre dos nodos sin depender de un medio físico.

En esta investigación se diseñó una red de Radioenlaces Microondas para los pueblos alejados y carentes de medios de desarrollo del distrito de Tambogrande, en primer lugar se determinó quienes serán los pueblos beneficiarios de acuerdo a la situación planteada en las que se encuentran, seguidamente se definió la ubicación de los nodos principales concretando el diseño de la red (se propone equipos de comunicación adecuados para transmitir las señales de grandes distancias), posteriormente se concretó el diseño a partir de una red de conexión final para la distribución del servicio a las entidades públicas y gran parte de la población de los pueblos beneficiarios, finalmente elegimos un software de simulación y determinamos si existe comunicación entre los nodos y beneficiarios.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Siendo Tambogrande un distrito que genera y exporta productos en grandes cantidades a su vez inyecta gran flujo económico al Perú, es de esperarse que el nivel de la calidad de vida sea el óptimo, que sus escuelas, centros de salud, comisarias, casas comunales, etc. cuenten con sistemas eficientes como parte del desarrollo, el acceso al avance tecnológico trae consigo el desarrollo global que es lo que se está apostando en esta propuesta, ubicar a los pueblos alejados con múltiples carencias, considerarlos y diseñar un sistema óptimo que les brinde un servicio de internet de gran velocidad inyectado por medio de Radioenlaces vía Microondas.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

¿Será posible diseñar un sistema de radioenlaces vía microondas para coberturar con servicio de internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambogrande?

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación de la investigación

Considerando las carencias y niveles de pobreza con los que cuentan los pueblos de Tambogrande, el flujo económico que este distrito inyecta al Perú y la demanda de población que requiere desarrollo en sus instituciones educativas, en sus centros de salud a través sistemas de atención rápidos, en tener la facilidad para el acceso a la información, la necesidad en hacer mejoras para sofisticar procesos de planta para los empresarios de este distrito, etc. es necesario contar con este servicio que les permita ampliar sus capacidades tanto para su desarrollo económico, educativo y en calidad de vida.

El distrito de Tambogrande tiene que contar con este servicio que les prevea internet con un buen ancho de banda.

1.4.2. Importancia de la investigación

Esta investigación es muy importante ya que se están presentado múltiples proyectos de distribución de fibra óptica alrededor del Perú por parte del gobierno, con lo cual contribuye como propuesta para su desarrollo, aprovechando el diseño de esta red como candidata para que los proyectos estatales lo pongan en marcha.

1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Diseñar una red de Radioenlaces vía Microondas para los pueblos más alejados del distrito de Tambogrande.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar un estudio de campo y de gabinete en el diseño de la red de radioenlaces microondas para coberturar con servicio de internet a los pueblos más alejados del distrito de Tambogrande.
- Realizar el estudio de propagación para poder enlazar los nodos respectivos y coberturar a los pueblos más alejados de Tambogrande.
- Proponer la tecnología idónea en el diseño de la red de microondas.
- Realizar el presupuesto para la implementación del sistema de acceso vía microondas.

1.6. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el departamento de Piura durante el primer semestre del año 2018. Para el estudio se consideraron los pueblos alejados del distrito de Tambogrande e instituciones públicas.

II MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Existen investigaciones referidas al diseño de radioenlaces vía microondas, tales como:

Según **Ricardo Erick Díaz Vargas (Perú, 2015)**, En la investigación titulada “DISEÑO DE RADIOENLACE MICROONDAS ISLA SAN LORENZO – CAMPUS PUCP PARA EL PROYECTO PERU MAGNETO”, establece la implementación de una red de transporte para la integración de una estación meteorológica llamada “PM-06” ubicada en la isla San Lorenzo teniendo el objetivo que los datos recogidos por los sensores instalados en la isla puedan ser enviados y posteriormente leídos, tabulados, analizados para finalmente predecir movimientos sísmicos.

Ricardo indicó que las implementaciones de sistemas de comunicaciones por Enlaces Microondas son más económicas a comparación con los de red satelital, celular y fibra óptica; la relación de los costos con la facilidad de instalación y la demanda existente, hacen de este sistema el mejor.

En su investigación usó la frecuencia de los 5.8 Ghz que es mucho más ventajosa en cuestión de economía y en la facilidad para adquisición de equipos a su vez siendo una banda liberada.

Logró demostrar que es posible obtener un enlace que satisface el requerimiento de transmisión de por lo menos 1.5Mbps en la banda de 5,8Ghz. Se obtuvo en sus pruebas una tasa de transmisión de 2,235Mbps; su sistema presenta una disponibilidad de 97.11%.

Para la energía logra diseñar un sistema de fuentes alternativas que mantiene a los equipos energizados durante las 24 horas del día con una autonomía de alrededor de dos días.

Finalmente recomienda lo siguiente: Si la interferencia en el enlace aumenta, se recomienda cambiar la frecuencia del enlace (5.8Ghz) a una que se encuentre en una banda licenciada de 3Ghz a 10Ghz, para estas dos bandas existen equipos disponibles en el mercado; también se podrían trabajar a otras bandas, pero se tendrían que importar equipos que trabajen a esas frecuencias.

Del mismo modo **Pablo Andrés Vela Remache (Ecuador, 2015)**, en su investigación titulada “ESTUDIO Y DISEÑO DE RADIOENLACE PARA TRANSMISIÓN DE DATOS, E INTERNET DE FRECUENCIA LIBRE PARA LA COOPERATIVA INDIGENA “ALFA Y OMEGA” UTILIZANDO EQUIPOS AIRMAX DE UBIQUITI”, presentó una propuesta accesible en el aspecto económico y confiable en el aspecto técnico, además detalla que este proyecto se planteó con la finalidad de dotar de un servicio de telecomunicaciones fijo para la cooperativa indígena “alfa y omega”, este servicio permitirá compartir el servicio de internet de una matriz por medio de un enlace microonda habilitando múltiples servicios dando prioridad al rubro financiero.

Los equipos que contempló utilizar trabajan en la banda de los 5.8Ghz, lo cual reduce el costo total, para el desarrollo de su proyecto usa los softwares Radio Mobile y Google Earth.

En la implementación Pablo empleó torres ventadas por temas económicos, a la vez indica que el uso de bandas no licenciadas no implica que el uso de dichas frecuencias no tenga ningún costo por su utilización, dicho costo es menor en comparación con las banda licenciadas y debe pagarse a la autoridad correspondiente, según la ley de telecomunicaciones el espectro radioeléctrico es un recurso natural, irreproducible, limitado y estratégico; por lo tanto genera una renta extraordinaria o natural para los ecuatorianos.

Finalmente recomendó lo siguiente: En sistemas de comunicación que ofrecen este tipo de servicio es necesario contar con un backup o sistema de respaldo de energía en los sites donde se instalarán los equipos, que por lo general son cerros o lugares montañosos que están aislados que es frecuente que existan interrupciones eléctricas, por lo tanto es necesario solventar este problema considerando alternativas energéticas para el correcto y continuo funcionamiento del enlace durante un corte repentino del flujo eléctrico.

Por otro lado **Pablo Antonio Fernández Mafé (España, 2013)**, en su investigación titulada “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ANILLO DE RADIOENLACES EN SAN JAVIER (MURCIA)”, presentó un diseño de un anillo de radioenlaces mediante los equipos de la tecnología Ericsson, para ello plantea los equipos con los que trabajará su sistema que brindara servicio de telefonía, finalmente lleva a cabo la implementación y puesta en marcha del anillo de radioenlaces.

Pablo resaltó las ventajas y beneficios del equipo Mini Link TN el sistema más desplegado de transmisión de microondas actualmente en el mundo. La familia del Mini Link TN es uno de los últimos productos que ha incorporado Ericsson al mercado de las telecomunicaciones móviles. Ofreciendo un producto con gran efectividad, compacto y con escalabilidad, es uno de los mejores en relación coste-efectividad del mercado de transmisión de microondas.

En su tesis resaltó configuración 1+1 aplicada a los equipos Ericsson, consiste en un sistema con dos radios y una antena, la radio principal es la que siempre está radiando y la secundaria esta inactiva, si por algún motivo la radio principal fallese automáticamente se pondría en funcionamiento la secundaria. De este modo no se perdería la comunicación en el radioenlace.

En este sistema los radioenlaces trabajan en la banda de los 13 hasta los 18 GHZ utilizando parabólicas de 0.3 hasta 0.9m de diámetro.

Finalmente su topología (anillo) se constituyó por 5 nodos situados en la parte superior de edificios o casas elevadas, las ventajas que encuentra es la reducción

de costos en la compra de espacios y la facilidad con las que puede concretar la comunicación de los enlaces

Seguidamente **Víctor Vinicio Rosero Almeida (Quito, 2007)**, en su investigación titulada “ANÁLISIS DE ALTERNATIVA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIONES PETROPRODUCCIÓN. ENLACE DISTRITO QUITO-DISTRITO AMAZÓNICO”, presenta una alternativa para optimizar recursos mediante una ruta alterna redundante a su sistema de comunicaciones actual, encontrando su factibilidad técnica y legal para su diseño, también analiza la opción de que este nuevo enlace trabaje en conjunto con este sistema de comunicaciones existente.

Víctor analizó el tipo y volumen de tráfico telefónico y de datos a transportar para ello estudia las llamadas durante 5 días laborables de lo cual presenta un resumen del número de llamadas así como de tiempo de ocupación por horas con el fin de encontrar la hora pico en el periodo más crítico todo esto realizado a partir del software PC-SISTEL.

El diseño de la red alterna se encaminó en su mayoría al cálculo del nivel de la señal recibida en cada enlace, los parámetros de pérdida y ganancia los determinara teniendo en cuenta las características propias de los equipos microondas y las antenas a utilizar en el diseño del radioenlace.

Se determinó que la ventaja de este nuevo enlace junto con el sistema de comunicaciones actual de petroproduccion está dada en el desvío de la transferencia de información sobre otros puntos de repetición que permitan coincidir estos datos a su destino final.

Víctor recomendó trabajar en la banda de los 7Ghz para que todos los radios microondas puedan trabajar sin presentar problemas de interferencia por frecuencias ya asignadas.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. PROPAGACIÓN DE LAS ONDAS EN EL ESPACIO

La propagación de onda se refiere a la propagación de ondas electromagnéticas que son aquellas que se originan a partir de las oscilaciones que surgen al moverse a la vez tanto partículas magnéticas como eléctricas, estas ondas no requieren de un soporte material para su expansión, es una forma en que la energía se transporta a través del aire, es decir sin necesidad de tener que contar con cables ni ningún dispositivo físico similar.

A la hora de poder estudiar cualquier onda electromagnética se hace necesario tener en cuenta los elementos que le dan forma. Entre estos se encuentran los siguientes:

- Longitud de onda.
- Frecuencia. Viene a ser el número de veces que se repite la onda por lo que es la unidad de tiempo.
- Amplitud, que es la mayor perturbación de la onda en sí.
- Periodo, que viene a ser la inversa a la frecuencia.

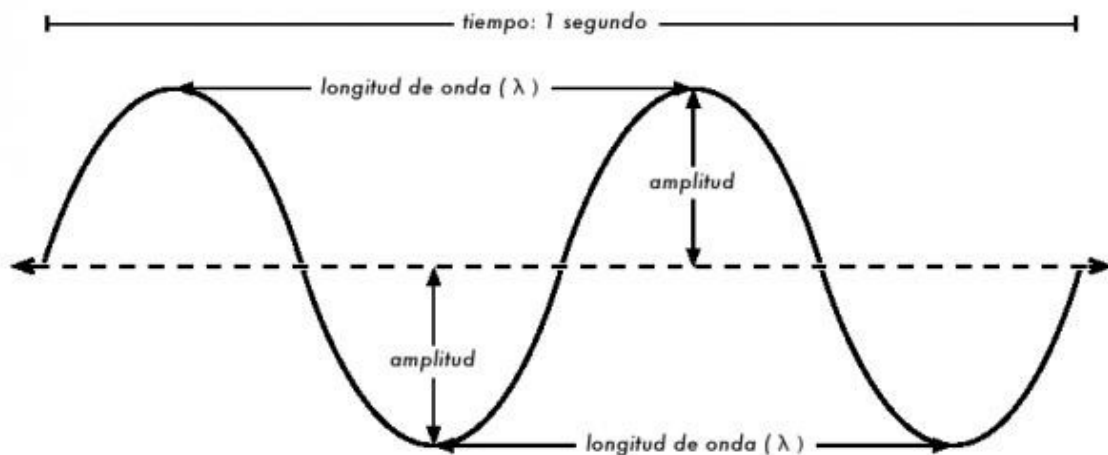


Figura N° 01. Elementos de Onda
Fuente: Física II (H. Medina Guzmán, 2000)

Las ondas de radio se consideran ondas electromagnéticas como la luz y al igual que está viajan a través del espacio libre con una velocidad de 300 000 000 [m/s]. Las ondas de radio se propagan por la atmósfera terrestre con energía transmitida por la antena transmisora, posteriormente la energía se recibe del lado de la antena receptora. La radiación y la captura de esta energía son funciones de las antenas y de la distancia entre ellas.

En un sistema de radio punto-a-punto, un único transmisor se comunica con un único receptor. Tales sistemas generalmente usan antenas de alta ganancia con posiciones fijas para maximizar la potencia recibida y minimizar la interferencia que podrían estar operando aledañamente en el mismo rango de frecuencia. Típicamente son usados para comunicaciones satelitales, transferencia de data dedicada por compañías de utilidades, y *backhaul* de las estaciones base celulares. Estos sistemas son ventajosos porque son mucho menos costosos que la implementación de redes con gran ancho de banda de fibra óptica subterránea. (Ricardo Diaz Vargas, 2015).

Se dirá que la propagación es por línea de vista cuando no se encuentren obstáculos en el primer elipsoide de Fresnell y los efectos del fenómeno de difracción sean despreciables. (H. Sizun, 2005).

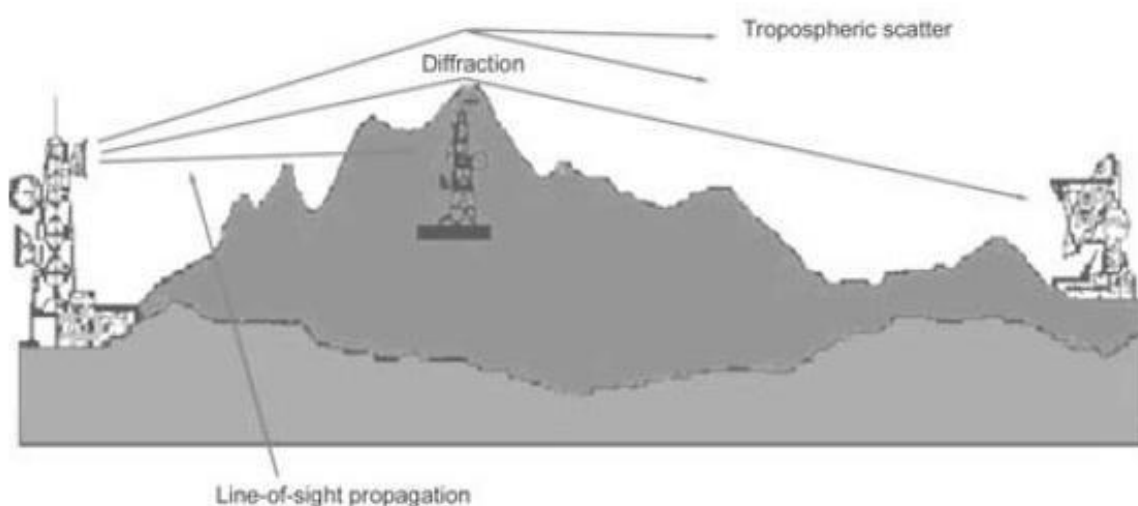


Figura N° 02: Propagación por Línea de Vista (ITU-R P.452)

Fuente: Radio Wave Propagation: Telecommunication Applications, (H. Sizun, 2005).

2.2.2. FENÓMENOS DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

2.2.2.1. Absorción

Las ondas electromagnéticas son atenuadas o debilitadas mediante la transferencia de energía al medio en el cual viajan, cuando éste no es el vacío.

Debido a este efecto la potencia de la onda decrece exponencialmente en el medio, viéndose reflejado en un decrecimiento lineal en dB. Este coeficiente de absorción en dB/m se usa para describir el impacto del medio en la radiación, de manera cuantitativa.

La lluvia puede ser un problema para la propagación de ondas de espacio para frecuencias mayores a 4 GHz. Principalmente, la lluvia causa atenuación de la señal transmitida por absorción. Gotas de lluvia no esféricas pueden generar rotación en la polarización durante la propagación. (A. Richards, 2008)

En general, existe una fuerte absorción en materiales conductores, sobre todo en metales, y en el caso referente a las redes inalámbricas, es el agua en todas sus formas ya sea lluvia, neblina, y la contenida en el cuerpo humano la causante de la absorción.

También se encuentra absorción intermedia en rocas, ladrillos y concreto, dependiendo de su composición, y en el caso de árboles y otros materiales, su comportamiento es determinado por su concentración de agua.

2.2.2.2. Reflexión

La reflexión ocurre principalmente sobre metales, pero también en superficies de agua y otros materiales con propiedades similares. El principio básico de la reflexión es que una onda se refleja con el mismo ángulo con el que impacta una superficie.

El efecto más obvio de la presencia de suelo en la propagación de radiofrecuencia y microondas es la reflexión de la superficie de la Tierra, sea mar o tierra. La onda reflejada es generalmente más pequeña en amplitud que la onda directa por la larga distancia que viaja, el hecho es que generalmente irradia de la región del lóbulo lateral de la antena

transmisora y el suelo no es un reflector perfecto. Sin embargo, la señal recibida en el receptor será el vector suma de dos componentes de onda y podría ser mayor o menor que la onda directa sola, estos efectos también pueden ser causados por reflexiones y variaciones no homogéneas en la atmosfera. (D. M. Pozar, 1012)

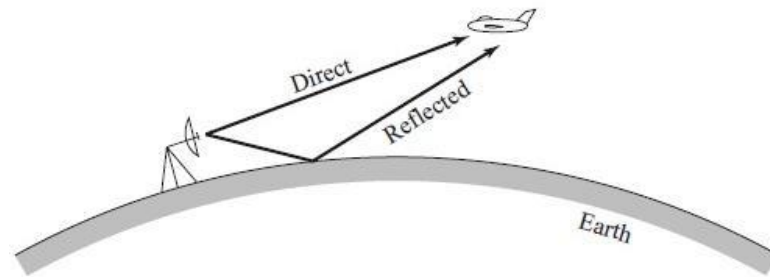


Figura N° 03. Onda directa y reflejada sobre la superficie terrestre

Fuente: Microwave Engineering, Wiley, (D. M. Pozar, 2012).

2.2.2.3. Refracción

La refracción es la desviación de las ondas cuando encuentran un medio de composición diferente, por lo que un frente de onda al pasar de un medio a otro cambia de velocidad y en consecuencia de dirección.

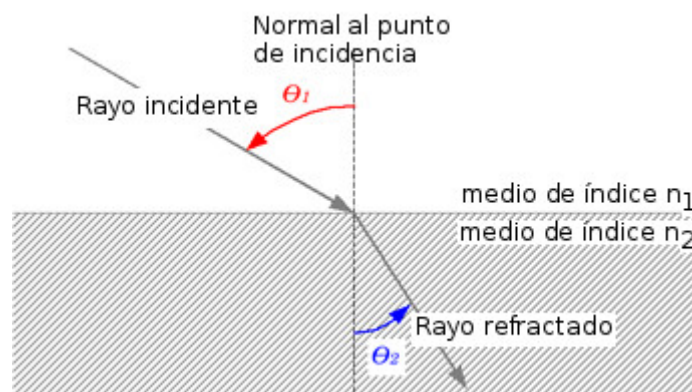


Figura N° 04. Fenómeno de refracción

Fuente: <http://aulas.uruguayeduca.edu.uy/mod/book/view.php?id=28343&chapterid=7419>
(ciencias fisicas, 2018).

Tenemos:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Formula N° 01. Ley de Snell

Como el índice de refracción disminuye a medida que se incrementa la altura se tiene que la curva radioeléctrica se curva hacia abajo según la ley de Snell.

2.2.2.4. Difracción

La difracción es donde una onda de radio dispersa energía en la vecindad del límite de la línea de vista en el horizonte, dando un rango ligeramente más lejano al horizonte. Este efecto es usualmente muy pequeño para frecuencias de microondas. Por supuesto, cuando obstáculos como cerros, montañas, o construcciones están en el camino de propagación, los efectos de difracción son más fuertes. (Ricardo Diaz Vargas, 2015).

La difracción se basa en el hecho de que las ondas no se propagan en una sola dirección. Ocurre cuando las ondas encuentran un obstáculo en su trayectoria y lo rodean divergiendo en muchos haces.

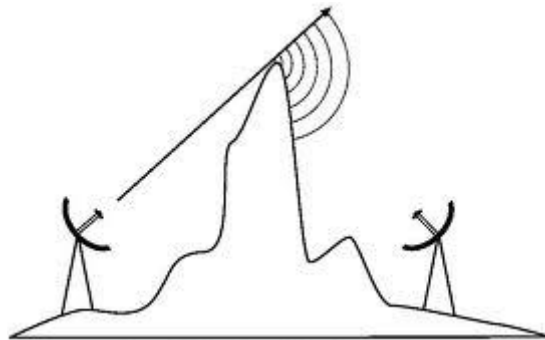


Figura N° 05. Onda directa y reflejada sobre la superficie terrestre.

Fuente: Diseño de radioenlace microondas isla san lorenzo – campus pucp para el proyecto Perú magneto (Ricardo Diaz Vargas, 2015).

Una antena se asimila a un emisor de un frente de onda en expansión. De acuerdo con el principio de Huygen (Físico holandés S. XVII) cada elemento del frente de la onda produce un frente de secundario, es decir que a la antena receptora le llega señal desde cada punto del frente de onda (señal difractada), existen entonces infinitos caminos que unen a las antenas (como los rayos difractados recorren un camino más extenso llegan con cierto retardo que puede producir una interferencia que se suma o se resta de acuerdo con la fase relativa), el efecto de la difracción queda determinado por una familia de elipsoides de fresnell (matemático francés S. XIX).

2.2.3 ZONA DE FRESNELL

Un principio importante cuando se trata de entender la propagación de ondas electromagnéticas es el principio de Huygens, el cual en su forma simplificada puede ser formulado como:

“En cualquier punto de un frente de onda, se puede considerar que se origina un nuevo frente de onda esférico”.

Si se suma las ondas esféricas de un frente de onda, se puede entender por qué un frente de onda no perturbado viaja como una sola pieza. Es por esto que el principio de Huygens explica por qué la luz (ondas de radio, o cualquier onda electromagnética) no siempre viaja en línea recta.

En este sentido las zonas de Fresnel definen la existencia de una zona que debe mantenerse libre de obstáculos para poder transmitir la máxima potencia desde un punto A hasta un punto B. Si existen obstáculos dentro de la zona de Fresnel, éstos introducirán pérdidas de obstrucción, las cuales se determinan en función de la relación entre el factor de tolerancia y el radio de la primera zona de Fresnell.

Para el cálculo del radio de las zonas de Fresnell es necesario aplicar la Fórmula siguiente.

$$F_n = 550 * \sqrt{\frac{n(d_1 * d_2)}{f(d_1 + d_2)}} [m]$$

Formula N° 02. Cálculo para determinar radio de las zonas de fresnell

- n = número de la zona de Fresnell (n = 1, primera zona de Fresnell).
- f= Frecuencia [MHz]
- d1 = Distancia desde el punto más bajo al obstáculo, en [Km]
- d2 = Distancia desde el obstáculo hasta el otro extremo del enlace, en [Km]
- d = Distancia Total entre el punto A y el punto B (d = d1+d2)

La primera zona de Fresnell es un volumen más cercano alrededor de la línea recta que une el transmisor con el receptor, por lo que hay que tener en cuenta los obstáculos por debajo pero también a los lados de esta línea recta, tal como se puede apreciar en la figura siguiente.

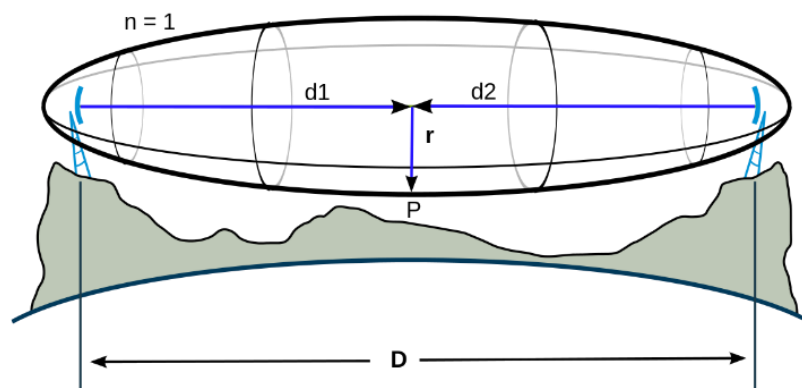


Figura N° 06. Primera zona de fresnell

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Zona_de_Fresnel (wikipedia, 2018)

2.2.4 LINK PLANER

Software libre de simulación que le permite modelar escenarios basados en la geografía, la distancia, la altura de la antena, la potencia de transmisión y otros factores para optimizar el rendimiento del sistema y determinar LOS. Diseña rápidamente redes para un despliegue óptimo y una rentabilidad rentable con facilidad. Disponible para sistemas Microsoft® Windows® y Mac.

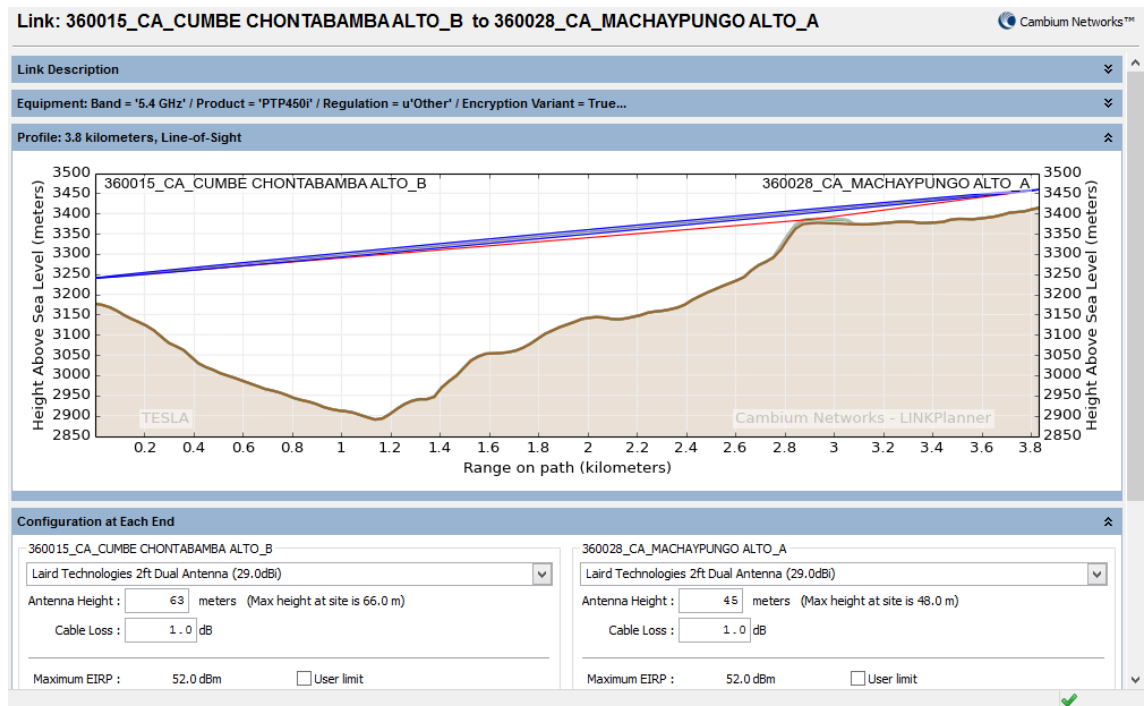


Figura N° 07. Simulación de Enlace
Fuente: (Software Link Planer)

2.2.5 ANTENA

Son dispositivos para la emisión o recepción de ondas de radio. Una antena emisora es un dispositivo alimentado por un generador de energía eléctrica a cierta frecuencia que emite ondas de radio en el espacio.

Las principales características de una antena son:

- **Patrón de Radiación:** Es una representación gráfica de las propiedades de radiación de una antena, esta gráfica suele ser representada tanto en el campo eléctrico como magnético, es decir en el plano vertical conocido como plano “E” quien es el plano formado por el campo eléctrico en su máxima radiación y el plano horizontal conocido como plano “H” quien es el plano formado por la dirección del campo magnético en su máxima radiación.

- **Ganancia:** Es la propiedad que tiene la antena de concentrar la potencia en una dirección dada o de captarla desde cierta dirección, cabe resaltar que una antena no amplifica potencia solo la direcciona y la ganancia de la

antena se expresa en [dbi] que quiere decir que es la expresión de la ganancia de una antena en db con respecto a una antena isotrópica ($G=1=0\text{db}$, antena ideal que no tiene pérdidas irradiando la misma cantidad de potencia en todas las direcciones) y viene definida por el fabricante.

- **Polarización:** Es una indicación de la orientación del vector de campo en un punto fijo del espacio al transcurrir el tiempo, la polarización de una antena en una dirección es la de una onda radiada por ella en esa misma dirección, si la onda está polarizada correctamente con respecto a la antena entonces la densidad de potencia transmitida toma su valor máximo, existen 2 tipos de polarizaciones aplicada en campo, tenemos a la polarización vertical y polarización horizontal, la polarización vertical es cuando el campo eléctrico de la onda es perpendicular a la tierra y existe polarización horizontal cuando las líneas magnéticas son paralelas a la superficie de la tierra, la onda completa consiste en una interacción de energía de los dos campos de fuerza.

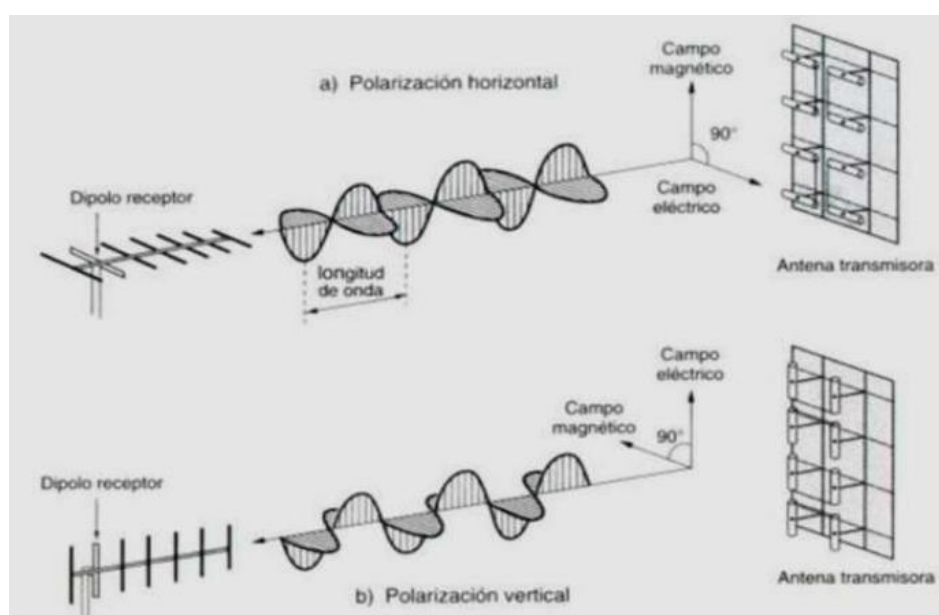


Figura N° 8. Polarización vertical y Horizontal

Fuente: <https://es.slideshare.net/andresguzmanforero/antenas-polarizacion-vertical> (Andres Guzman Forero, 2018).

Las antenas son transductores que transfieren energía electromagnética entre la línea de transmisión y el espacio libre, según su aplicación contamos con antenas PTP y PMP, las PTP se caracterizan porque conectan

solo a 2 lugares realizando un recorrido de varios kilómetros mientras que las PMP conectan dos o más ubicaciones en un recorrido de área más reducida, por el principio de reciprocidad una antena puede actuar como transmisora y como receptora, rigiéndose a través de las siguientes fórmulas que permiten conocer los niveles de energía con los que opera y atenuaciones a considerar.

- Atenuación en el espacio libre (*Path Loss*):

Es el valor de pérdida o atenuación en el espacio libre. Se obtiene usando la fórmula del *Path Loss*. Esta se calcula para un enlace en el vacío con una trayectoria ideal.

$$A_{EL} = 10 \log \left(\frac{F \times d}{\frac{C}{4\pi}} \right)^2 = -20 \log \left(\frac{C}{4\pi} \right) + 20 \log (F \times d) \text{ [dB]}; C = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Formula N° 03. Formula General para determinar el cálculo para determinar la atenuación en el espacio libre en función de MHZ y KM

$$A_{EL} = 32,5 \text{ db} + 20 \log (F \times d) \text{ [dB]}; F \text{ [MHZ]}, d \text{ [KM]}$$

Formula N° 04. Cálculo para determinar la atenuación en el espacio libre en función de MHZ y KM

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log (F \times d) \text{ [dB]}; F \text{ [GHZ]}, d \text{ [KM]}$$

Formula N° 05. Cálculo para determinar la atenuación en el espacio libre en función de GHZ y KM

[db]: Unidad de medida que expresa todas las atenuaciones y pérdidas.

-Potencia de recepción P_r (dBm):

Es el valor de la potencia que está llegando en el equipo receptor, para su cálculo se tiene en cuenta la potencia de transmisión, ganancia de los equipos, atenuación en cable, conectores y en el espacio libre.

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) \\ + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

Formula N° 06. Cálculo para determinar la potencia de recepción

Tenemos:

$A_c(\text{dB})$: Atenuación debida a filtros y conectores, asignado por el fabricante.

$A_g(\text{dB})$: Atenuación debida al cable o guía de onda, asignado por el fabricante.

$A_{EL}(\text{dB})$: Atenuación debida al espacio libre.

$G_a(\text{dBi})$: Ganancia de antena.

$P_t(\text{dBm})$: Potencia de transmisión, [dBm]: unidad que expresa la potencia de transmisión ó recepción en dB con respecto a 1mW de potencia como nivel de referencia.

[dBm]; $P_{T \text{ o } R/\text{dbm}} = 10 \log\left(\frac{x}{1\text{mW}}\right), x: \text{potencia a convertir.}$

Formula N° 07. Cálculo para determinar la potencia de transmisión o recepción en [dBm].

- Potencia isotrópica radiada efectiva (PIRE):

Cantidad de potencia con respecto a una antena isotrópica orientado a su máxima ganancia para tener la misma densidad de potencia en todo punto determinado.

$$PIRE(dBm) = P_T(dBm) + G_T(dBi) - A_{g1}(dB)$$

Formula N° 08. Cálculo para determinar la potencia isotrópica radiada efectiva.

- Margen de desvanecimiento FM (FADE MARGEN)

Se define como la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida P_n y el nivel mínimo de potencia que asegura una determinada tasa de error BER (denomina potencia umbral del receptor P_u).

$$FM = P_n - P_u$$

Formula N° 09. Cálculo para determinar FM [dB].

La potencia umbral se determina para los valores de BER que asocia la calidad aceptable, disponibilidad y calidad degradada. Este margen siempre debe ser positivo, y sus valores comunes están por encima de los 20 dB. Tener un margen de enlace razonable garantiza una robustez del sistema contra variables como: el desvanecimiento de la señal por el clima, desplazamiento de un usuario móvil, problemas por propagación multi-trayecto (*multi-path*), y otros efectos impredecibles que pueden degradar la performance del sistema y calidad de servicio.

- THROUGHPUT

En redes de comunicaciones, se llama throughput a la tasa promedio de éxito en la entrega de un mensaje sobre un canal de comunicación. Este dato puede ser entregado sobre un enlace físico o lógico, o a través de un cierto nodo de la red. Por regla general, el throughput es medido en bits por segundo (bit/s o bps), y a veces en paquetes de datos por segundo o paquetes de datos por franja de tiempo.

El throughput es la capacidad efectiva de transferencia de datos sobre el enlace.

2.2.6 MODULACIÓN

La **Modulación** engloba el conjunto de técnicas que se usan para transportar información sobre una onda portadora, típicamente una onda sinusoidal. Estas técnicas permiten un mejor aprovechamiento del canal de comunicación lo que posibilita transmitir más información de forma simultánea además de mejorar la resistencia contra posibles ruidos e interferencias.

Para aplicaciones de telecomunicaciones en transferencia de datos a buena velocidad y eficiencia se utilizan actualmente las modulaciones de amplitud en cuadratura (QAM). Las distintas versiones de QAM se pueden usar cuando varios niveles de tasas de datos son requeridos por un sistema de comunicaciones por radio, para la elección de la modulación a operar en un enlace se debe considerar que la tasa de transferencia de datos sea la idónea y la tasa de error de bit la más mínima, para transferir datos en LTE (long term evolution-evolución a largo plazo) usan 16QAM ó 64QAM, lo característico de LTE es que trabaja con tecnología de banda ancha que sirve para la transmisión de datos con la finalidad de dar acceso a internet a alta velocidad.

2.2.6.1 16QAM

Para hablar de 16QAM hay que tener en cuenta que QAM es una modulación digital compuesta por la suma lineal de dos señales previamente moduladas. La modulación 16QAM permite transmitir datos

en una trama de 4 bits a través de 16 señales o símbolos expresados en su constelación, están regidos a partir de la siguiente formula.

$$\text{simbolos} = 2^N, N: \text{Número de bits}$$

Formula N° 10. Símbolos o señales para tramas de bits

Se expresan en la siguiente imagen:

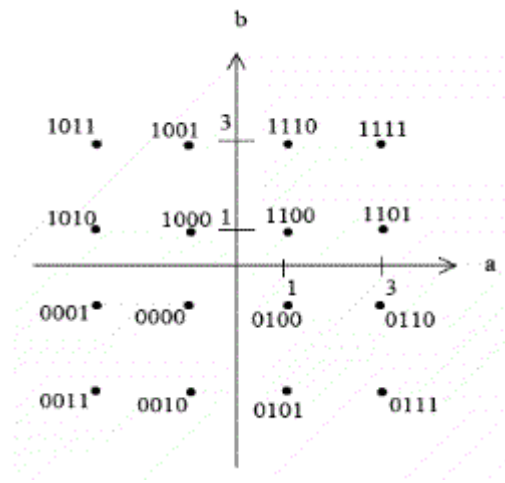


Figura N° 9. Constelación modulación 16QAM

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Constelacion_para_modulacion_16_QAM.png (Wikimedia, 2018).

Ahora bien se sabe que la modulación 16QAM toma paquetes de 4 bits necesitando 16 señales para poder transmitirlos y cada símbolo representa una señal analógica $S(t)$.

$$S(t) = a(t) + b(t), \quad \text{donde:}$$

$$a(t) = \cos(2\pi f_c t)$$

$$b(t) = \sin(2\pi f_c t)$$

f_c : frecuencia de portadora

La señal analógica $S(t)$ expresa la señal en el dominio del tiempo que tendrá cada símbolo.

2.2.6.2 64QAM

La modulación 64QAM es una técnica digital avanzada que transporta datos mediante la modulación de la señal portadora de información tanto en amplitud como en fase permite transmitir datos en una trama de 6 bits a través de 64 señales o símbolos expresados en su constelación.

Se expresan en la siguiente imagen:

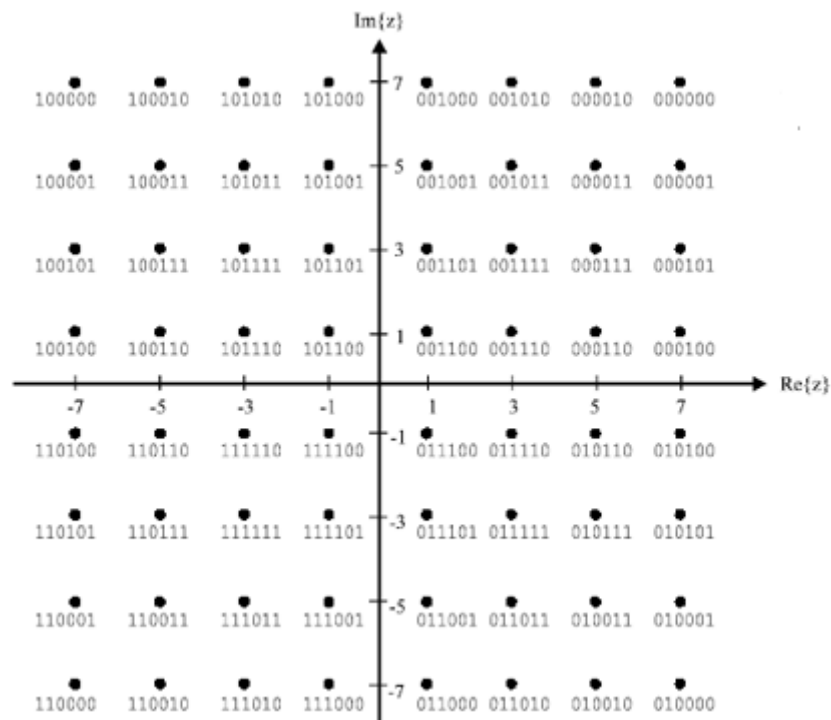


Figura N° 10. Constelación modulación 64QAM

Fuente: <https://www.google.com/search?biw=1366&bih=657&tbm=isch&sa=1&ei=QQkwXKyRK7G6ggff2oHgCw&q=modulaci%C3%B3n+64QAM>: (google, 2018).

Ahora bien se sabe que la modulación 64QAM toma paquetes de 6 bits necesitando 64 señales para poder transmitirlos y cada símbolo representa una señal analógica $S(t)$.

$$S(t) = a(t) + b(t), \quad \text{donde:}$$

$$a(t) = \cos(2\pi f_c t)$$

$$b(t) = \sin(2\pi f_c t)$$

f_c : frecuencia de portadora

La señal analógica $S(t)$ expresa la señal en el dominio del tiempo que tendrá cada símbolo.

III MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque

- Enfoque mixto: Cuantitativo y Cualitativo.

3.2. Diseño

- Cuantitativo: No experimental.
- Cualitativo: Estudios de Caso.

3.3. Nivel

- Descriptivo y diseño.

3.4. Sujetos de la investigación

- Universo: Distrito de Tambogrande - Piura - Perú.
- Población: centros poblados, caseríos y entidades públicas.
- Muestra: La red de radioenlaces, desplegada en 7 pueblos pertenecientes al distrito de Tambogrande.

3.5. Métodos y procedimientos

Los pasos que se siguieron en el desarrollo de la investigación, en cumplimiento de los objetivos específicos, son los siguientes:

- Se recolectó la información de los pueblos de Tambogrande que cuentan con múltiples necesidades y devastaciones a partir de las últimas

precipitaciones de lluvias (Plataforma distrital de defensa civil TAMBROGRANDE).

- Se recolectó la información respecto a los perfiles, relieves y altitud de los terrenos para determinar las áreas o zonas adecuadas para la ubicación de los nodos. (Google Earth).
- Se seleccionaron los equipos idóneos para que puedan operar con total normalidad en esta zona norte del Perú y que estén disponibles en un software de simulación para poder determinar si existe comunicación entre nodos (LINK PLANER).
- Se recolectó la información de crecimiento de la población en todo el distrito de Tambogrande, teniendo en cuenta las edades, niveles de pobreza y de desarrollo según el Ministerio de Salud y el INEI.

3.6. Técnicas e Instrumentos

- Técnicas de muestreo: Simple. Se seleccionó un grupo de pueblos del distrito de Tambogrande y entidades públicas de mayor interés de acuerdo con los Objetivos del Proyecto.
- Técnicas de recolección de datos: De gabinete. Todo el estudio se realizó en gabinete usando la información proporcionada por Instituciones Públicas.
- Instrumentos de recolección de datos: Se revisó información estadística de portales gubernamentales: Plataforma Distrital De Defensa Civil-Tambogrande, INEI, MINEDU, MTC, OSIPTEL, INEI, MINSA, Municipalidad Tambogrande, FITELE, entre otros.
- De análisis: Análisis estadístico y tecnológico con Excel, Google Earth y Software LINK PLANER.
- Confiabilidad y validez de los instrumentos: La información es proporcionada por entes gubernamentales. Dicha información es confiable

y válida, y por tanto no se requiere validación de algún especialista externo.

3.7. Aspectos éticos

Para el desarrollo de la Tesis se siguieron los principios éticos de acuerdo con el marco legal vigente de la Universidad Nacional de Piura y los entes administrativos nacionales correspondientes.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ESTADO ACTUAL Y ELECCIÓN DE LOS PUEBLOS A COBERTURAR EN EL DISTRITO DE TAMBOGRANDE

4.1.1. DISTRITO DE TAMBOGRANDE

El 8 de octubre de 1840 es creado por decreto el distrito de TAMBOGRANDE. Mediante Ley de 30 de marzo de 1861 se ratifica el decreto anterior. Su capital es Tambo Grande que en 1866, mediante decreto se eleva a categoría de pueblo, disponiéndose la expropiación de los terrenos necesarios y el pago a los propietarios (Hacendados históricos). El 11 de diciembre de 1866, el prefecto Díaz y las autoridades locales recibieron el terreno cedido por Andrés Rázuri (hacendado mayoritario) a fuerza de ley (Municipalidad de Tambogrande, 2018).



Figura N° 11. Mapa de la provincia de Piura y ubicación de Tambogrande
Fuente: www.perutourists.com/index19piciudad.html (Perú tourist Guide, 2018)

El Distrito de Tambo Grande es uno de los diez distritos que conforman la Provincia de Piura, en el Departamento de Piura, bajo la administración del Gobierno regional de Piura. Limita por el noroeste con el Distrito de Sullana, por el noreste con el Distrito de Las Lomas, por el este con los distritos de Frías y Sapollica, por el sur con el Distrito de Chulucanas, y por el oeste con los distritos de Piura y Castilla.

4.1.2. DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL ENTORNO

Siendo un distrito muy acogedor y muy ecológico en favor de la naturaleza misma, está ubicado a la margen derecha del río Piura, aproximadamente a 60 km de la ciudad de Piura y a 100 km del puerto marítimo de Paita, tiene una altura promedio de 68 m.s.n.m., una superficie de 1 442,81 km², una temperatura con una media anual de 24° C y una población de 120 022 habitantes según el MINSA en el reporte emitido en el año 2016.

El valle de San Lorenzo, donde se localiza Tambogrande, cuenta con 42 mil hectáreas de producción agrícola (mangos, limones y otros), que abastecen el mercado externo e interno, así también existen bosques de algarrobos. El valle brinda empleo permanente a 18 mil personas entre productores y trabajadores agrícolas, generándose ingresos anuales por US\$ 150 millones.

4.1.3. ELECCIÓN DE PUEBLOS A COBERTURAR

El distrito de Tambogrande tiene 187 caseríos, 7 municipalidades delegadas y están divididos en 10 zonas estratégicas.

Según INDECI y la plataforma de defensa civil de la municipalidad de Tambogrande estos son los pueblos correspondientes a Tambogrande que cuentan con la mayor parte de carencias respecto a vías de acceso, servicio de agua, etc.

Localidad
ALFREDO VILCA A.
AMARU INCA
ANGOSTURA
ATAHUALPA
AYAR UCHU
BARRIO LIBRE
BELLA ESPERANZA
BELLO HORIZONTE
CALLEJONES
CARRIZALILLO
CARRIZO
CERRO DE LEONES
CERRO DE LOROS
CESTEADERO
CHARAN COPOSO
CHICO ALTO
COLERA
CRUCETA
CRUZ VERDE
DIOS NOS MIRE
EL ALGARROBO
EL CANTERO
EL CARBON
EL CARMEN
EL CONVENTO
EL CRUCE DE VEGA
EL PAPAYO
EL PAPAYO DEL ALGARROBO
EL PUNO
EL SALTO
GUARAGUAOS ALTO
HUALTACO II
HUALTACO III
INCA ROCA
JESUS DEL VALLE
JORGE CHAVEZ
LA CURUA
LA GREDA
LA LOMA

Localidad
LA PALA
LA QUEBRADA
LAS MERCEDES
LAS MONICAS
LAS PALMERAS DE YARANCHE
LAS SALINAS
LLOQUE YUPANQUI
LOCUTO
LOS CHUICAS
LOS ZAPATA
LUCHADORES SOCIALES
MALINGAS
MANCO CAPAC
MANCO INCA
MAYTA CAPAC
MIRAFLORES ALTO
MIRAFLORES BAJO
MONTEVERDE
NUEVA ESPERANZA
OCOTO ALTO
OCOTO BAJO
OLIVARES
PACHACUTEC
PALO NEGRO
PALOMINOS
PE?AROL
PEDREGAL ALTO
PEDREGAL BAJO
PROGRESO ALTO
PROGRESO BAJO
PUEBLO LIBRE
PUEBLO NUEVO DE TEJEDORES
PUNTA ARENA
SAN BALTAZAR
SAN CARLOS
SAN EDUARDO
SAN ELOY
SAN FERNANDO
SAN FRANCISCO

Localidad
SAN FRANCISCO
SAN FRANCISCO DE YARANCHE
SAN MARTIN - CP.3
SAN MARTIN DE ANGOSTURA
SAN MARTIN DE MALINGAS
SAN MARTIN DE MALINGUITAS
SAN PEDRILLO
SANTA ANA
SANTA ELENA
SANTA ELENA - YAWAR-HUACA
SANTA JULIA DE BEDIA
SANTA PAULA
SANTA ROSA (CURGAN)
SANTA ROSA DE YARANCHE
SANTA ROSA DEL SALTO
SEREN
SINCHI ROCA
TAMBO GRANDE
TEJEDORES
TEJEDORES BAJO
TINAJONES
TOTAL ALTO
TUPAC AMARU
TUPAC INCA
VALLE HERMOSO
VALLE SAN JUAN
VALLECITO
WIRACOCOA
YARANCHE

Tabla N° 01. Lista de Pueblos con más Necesidades del distrito de Tambogrande

Fuente: Plataforma distrital de defensa civil de Tambogrande, 2018

Teniendo en cuenta la información de INDECI en conjunto con la plataforma de defensa civil de la municipalidad de Tambogrande se considerarán los siguientes pueblos:

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| - Nueva Esperanza | -Guaraguaos Bajo |
| -Guaraguaos Alto | -El Porvenir |
| -Santa Julia y Bedia | - San Miguel De Serén |
| - Mayta Capac | |

Cabe resaltar que la matriz principal se ubica en Tambogrande.

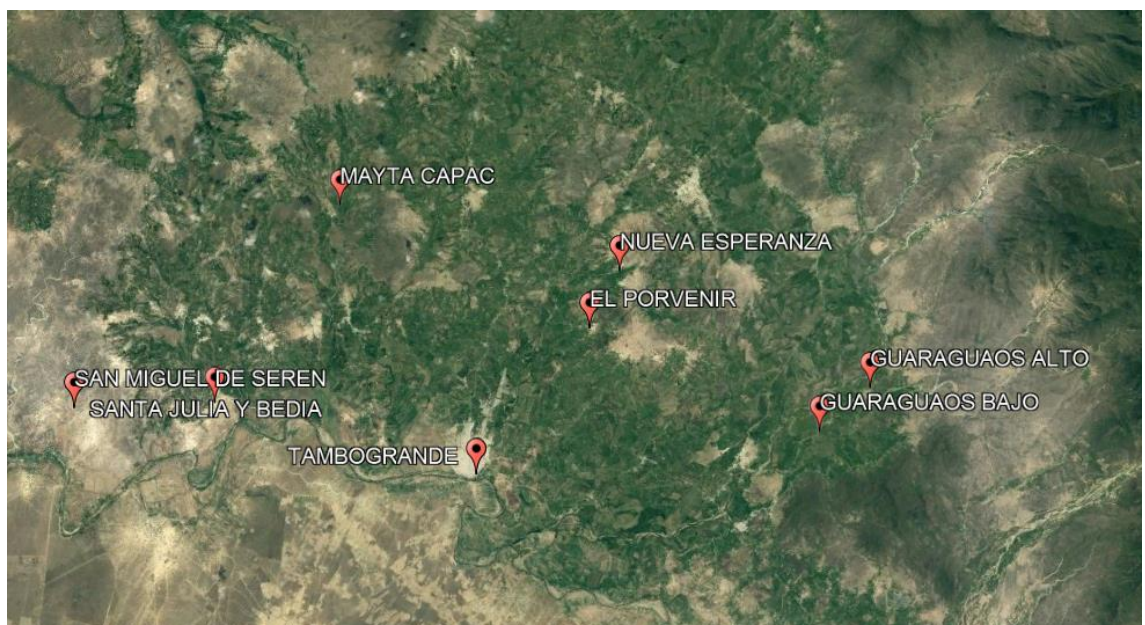


Figura N° 12. Ubicación de los pueblos a coberturar.

Fuente: Propia/Software google earth.

4.2. DISEÑO DE LA RED DE RADIOENLACES

4.2.1. UBICACIÓN DE LOS NODOS

4.2.1.1. Ubicación del nodo matriz o distrital

-NODO TAMBOGRANDE: Su locación es en el mismo distrito de Tambogrande, aproximadamente a 480m del puente de ingreso a la ciudad, la superficie del terreno cuenta con una altitud de 65,4 msnm.

Las coordenadas de su ubicación definida es, latitud: -4.93550° S y longitud -80.34093° W.

Esta ubicación es una zona estratégica para poder tener comunicación con los pueblos a coberturar, adicionalmente cuenta con un buen perfil en su área siendo un espacio óptimo para la construcción de la torre.

4.2.1.2. Ubicación nodo intermedio

-NODO SANTA JULIA Y BEDIA: Su ubicación se contempló al noreste del pueblo de Santa Julia y Bedia, cuenta con una altura de 75,5 msnm.

Las coordenadas de su ubicación definida es, latitud: -4.91124° S y longitud -80.43052° W.

Esta ubicación es una zona estratégica para poder tener comunicación con el nodo de Tambogrande, adicionalmente cuenta con un buen perfil en su área siendo un espacio óptimo.

4.2.1.3. Ubicación de nodos terminales

-NODO SAN MIGUEL DE SERÉN: Su ubicación está al este de San Miguel de Serén, aproximadamente a 1km de la parte céntrica del pueblo, cuenta con una altura de 71,9 msnm.

Las coordenadas de su ubicación definida es, latitud: -4.91306° S y longitud -80.47856° W.

Esta locación es para poder tener comunicación con el nodo de Santa Julia y Bedia, adicionalmente cuenta con un buen perfil en su área siendo un espacio óptimo para la construcción de la torre.

-NODO MAYTA CÁPAC: Su ubicación se está al norte de Mayta Cápac, aproximadamente a 500m de la parte céntrica del pueblo, cuenta con una altura de 111,9 msnm.

Las coordenadas de su ubicación definida es, latitud: -4.84331° S y longitud -80.38859° W.

Esta ubicación está en una zona estratégica para poder tener comunicación con el nodo de Santa Julia y Bedia, adicionalmente cuenta con un buen perfil en su área siendo un espacio óptimo para la construcción del nodo.

-NODO EL PORVENIR: Su locación está al este de El Porvenir, cuenta con una altura de 106 msnm.

Las coordenadas de su ubicación definida es, latitud: -4.88578° S y longitud -80.30237° W.

Esta ubicación está en una zona estratégica para poder tener comunicación con el nodo distrital de Tambogrande, adicionalmente cuenta con un buen perfil en su área siendo un espacio óptimo para la construcción de la torre.

-NODO GUARAGUAOS BAJO: Su locación está al sur de Guaraguaos Bajo, aproximadamente a 620m del pueblo, cuenta con una altura de 102 msnm.

Las coordenadas de su ubicación definida es, latitud: -4.92106° S y longitud -80.22389° W.

Esta ubicación está en una zona estratégica para poder tener comunicación con el nodo distrital de Tambogrande, adicionalmente cuenta con un buen perfil en su área siendo un espacio óptimo para la construcción de la torre.

4.2.1.4. Ubicación de los pueblos optimizados

Los pueblos optimizados son quienes tienen cobertura proporcionada de un nodo terminal a través de una antena sectorial, los pueblos optimizados son:

-NUEVA ESPERANZA: Este pueblo está optimizado por el NODO EL PORVENIR quien se encuentra a 2,45km de distancia, Nueva Esperanza cuenta con una altura de 110,7 msnm.

Las coordenadas de su ubicación es, latitud: -4.86614° S y longitud -80.29205° W.

-GUARAGUAOS ALTO: Este pueblo está optimizado por el GUARAGUAOS BAJO quien se encuentra a 2,51km de distancia, Guaraguaos Alto cuenta con una altura de 108,8 msnm.

Las coordenadas de su ubicación es, latitud: -4.90616° S y longitud -80.20647° W.

La red queda determinada por un nodo Distrital, un intermedio, 4 terminales y 2 pueblos optimizados según como se muestra en la siguiente imagen.

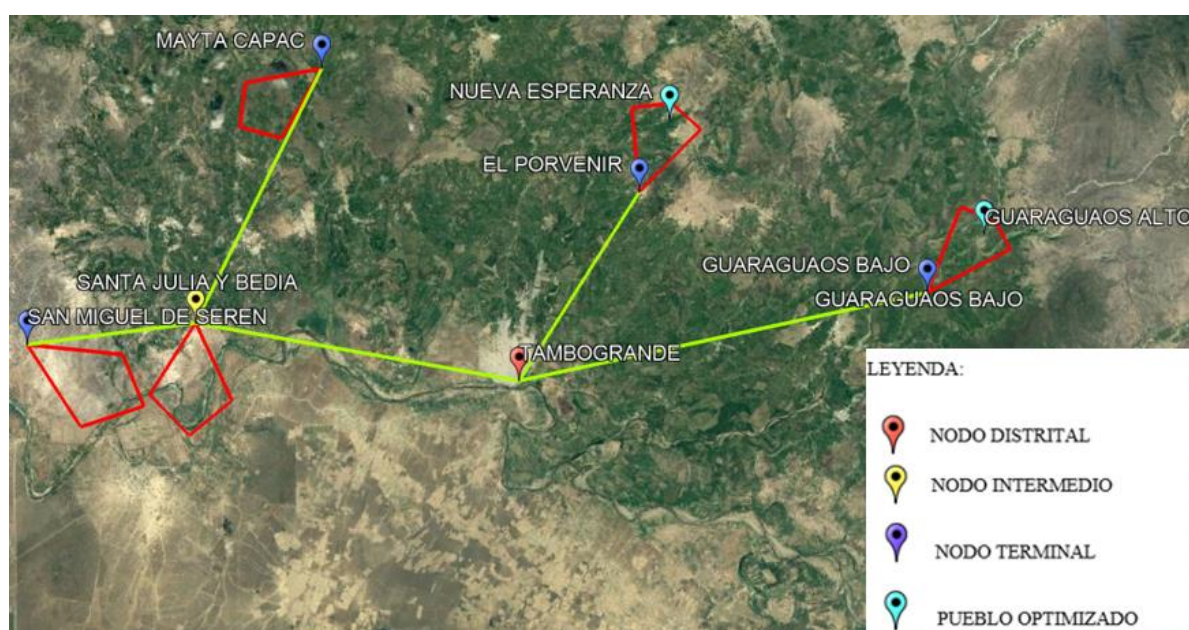


Figura N° 13. Diseño de la red de radioenlaces.

Fuente: Propia/Software Google earth

4.2.2. DISEÑO DE RADIOENLACES PTPS (POINT TO POINT)

Este diseño está constituido por 5 enlaces PTP, estos se caracterizan porque conectan solo a 2 lugares realizando un recorrido de varios kilómetros, en la figura número 10 las líneas color verde hacen referencia a estos enlaces, tenemos los siguientes enlaces PTP:

4.2.2.1. Nodo Tambogrande to Nodo Santa Julia y Bedia

Datos	Nodo Tambogrande	To	Nodo Santa Julia y Bedia
Coordenadas	-4.93550° S		-4.91124° S
	-80.34093° W		-80.43052° W
Distancia	10,292 Km		

Tabla 2. PTP Tambogrande to Santa Julia y Bedia.

Fuente: Propia

4.2.2.2. Nodo Santa Julia y Bedia to Nodo San Miguel de Seren

Datos	Nodo Santa Julia y Bedia	To	Nodo San Miguel de Seren
Coordenadas	-4.91124° S		-4.91306° S
	-80.43052° W		-80.47856° W
Distancia	5.332 Km		

Tabla 3. PTP Santa Julia y Bedia to San Miguel de Seren.

Fuente: Propia

4.2.2.3. Nodo Santa Julia y Bedia to Nodo Mayta Capac

Datos	Nodo San Miguel de Seren	To	Nodo Mayta Capac
Coordenadas	-4.91306° S		-4.84331° S
	-80.47856° W		-80.38859° W
Distancia	8.835 Km		

Tabla 4. PTP Santa Julia y Bedia to Mayta Capac.

Fuente: Propia

4.2.2.4. Nodo Tambogrande to Nodo El porvenir

Datos	Nodo Tambogrande	To	Nodo El Porvenir
Coordenadas	-4.93550° S		-4.88578° S
	-80.34093° W		-80.30237° W
Distancia	6.966 Km		

Tabla 5. PTP Tambogrande to El Porvenir.

Fuente: Propia

4.2.2.5. Nodo Tambogrande to Nodo Guaraguaos bajo

Datos	Nodo Tambogrande	To	Nodo Guaraguaos Bajo
Coordenadas	-4.93550° S		-4.92106° S
	-80.34093° W		-80.22389° W
Distancia	13.079Km		

Tabla 6. PTP Tambogrande to Guaraguaos Bajo.

Fuente: Propia

En la imagen siguiente se muestra el diseño de los 5 enlaces PTP.

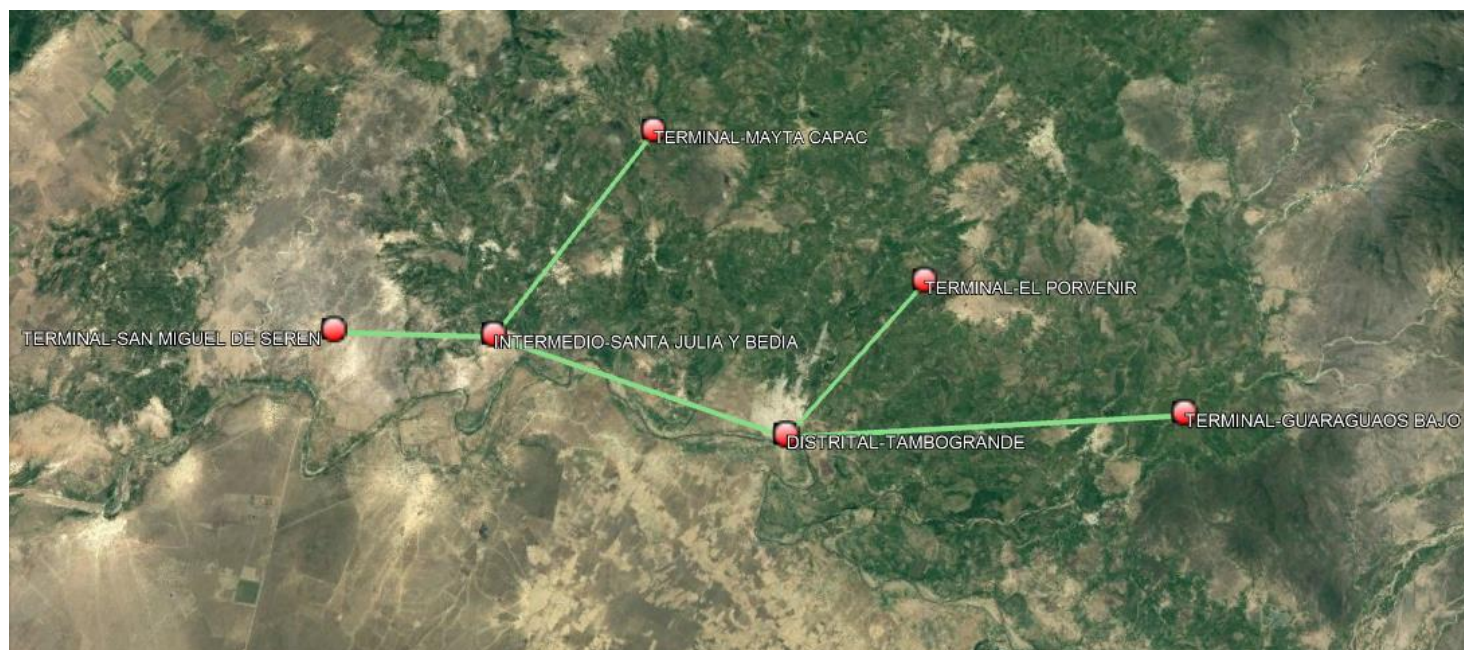


Figura N° 14. Diseño de los enlaces Point to Point (PTP).

Fuente: Propia/Google Earth

4.2.3. DISEÑO DE LOS RADIOENLACES PMPS (POINT MULTI POINT)

Este diseño está conformado por 7 enlaces PMP, estos se caracterizan porque conectan dos o más ubicaciones en un recorrido de área más reducida, en cada nodo terminal existe un equipo sectorial que cobertura con red a una entidad beneficiaria del pueblo donde se encuentra el nodo, por otro lado en los nodos El Porvenir y Guaraguaos Bajo al margen que coberturan al pueblo donde se encuentran brindan servicio a la vez al sector optimizado que está más cerca de su ubicación, en la figura número 11 los polígonos color rojo hacen referencia a la cobertura que alcanzan los equipos sectoriales.

En cada pueblo se ha seleccionado una entidad pública quien es el beneficiario, a continuación mencionamos cuales son, a que pueblo corresponde y los datos que la relaciona con el nodo:

4.2.3.1. Nodo Santa Julia y Bedia to I.E N°15114

Su entidad beneficiaria es la Institución Educativa N° 15114, cuenta con una altura de 76 msnm.

El equipo receptor se ubicó en el sector lateral derecho del pabellón principal de la Institución educativa, cuyas coordenadas de ubicación definidas son, latitud: -4.911770° S y longitud -80.430820° W.

Datos	Nodo Santa Julia y Bedia	To	I.E N° 15114
Coordenadas	-4.91124° S		-4.911770° S
	-80.43052° W		-80.430820° W
Distancia	0,067 Km		

Tabla 7. PMP Santa Julia y Bedia to I.E N° 15114.

Fuente: Propia

4.2.3.2. Nodo San miguel de seren to I.E N° 15192

Su entidad beneficiaria es la Institución Educativa N° 15192, cuenta con una altura de 66,6 msnm.

El equipo receptor se ubicó en el sector posterior izquierdo del pabellón principal cuyas coordenadas de ubicación definidas son, latitud: -4.92403°S y longitud -80.47414° W.

Datos	Nodo San Miguel de Seren	To	I.E N° 15192
Coordenadas	-4.91306° S		-4.92403°S
	-80.47856° W		-80.47414° W
Distancia	1.308 Km		

Tabla 8. PMP San Miguel de Seren to I.E N° 15192.

Fuente: Propia

4.2.3.3. Nodo Mayta Capac to I.E N°15335

Su entidad beneficiaria es la Institución Educativa N° 15335, cuenta con una altura de 121,3 msnm.

El equipo receptor se ubicó en el sector lateral derecho del pabellón principal cuyas coordenadas de ubicación definidas son, latitud: -4.84544°S y longitud -80.39220° W.

Datos	Nodo Mayta Capac	To	I.E N° 15335
Coordenadas	-4.84331° S		- 4.84544°S
	-80.38859° W		-80.39220° W
Distancia	0.465 Km		

Tabla 9. PMP San Mayta Capac to I.E N° 15335.

Fuente: Propia

4.2.3.4. Nodo Guaraguaos bajo to I.E N°15304 y CC.SS de Guaraguaos alto (Pueblo optimizado)

Tiene dos entidades beneficiarias, la primera es la Institución Educativa 15304 situada en el pueblo de Guaraguaos bajo, la segunda es el centro de salud de Guaraguaos Alto situado en dicho pueblo.

La Institución Educativa N° 15304, cuenta con una altura de 101,6 msnm. El equipo receptor se ubicó en el sector lateral izquierdo del pabellón principal cuyas coordenadas de ubicación definidas son, latitud: -4.91756°S y longitud -80.22003° W.

Datos	Nodo Guaraguaos Bajo	To	I.E N° 15304
Coordenadas	-4.92106° S		-4.91756°S
	-80.22389° W		-80.22003° W
Distancia	0,577 Km		

Tabla 10. PMP San Miguel de Seren to I.E N° 15304.

Fuente: Propia

El centro de salud de Guaraguaos alto, cuenta con una altura de 112,7 msnm. El equipo receptor se ubicó en el sector lateral derecho del establecimiento cuyas coordenadas de ubicación definidas son, latitud: -4.90843°S y longitud -80.20658° W.

Datos	Nodo Guaraguaos Bajo	To	Centro de salud Guaraguaos Alto
Coordenadas	-4.92106° S		-4.90843°S
	-80.22389° W		-80.20658° W
Distancia	2,374 Km		

Tabla 11. PMP San Miguel de Seren to Centro de Salud Guaraguaos Alto.

Fuente: Propia

4.2.3.5. Nodo El porvenir to CC.SS de El Porvenir y I.E N°14014 de Nueva Esperanza (Pueblo optimizado)

Cuenta con dos entidades beneficiarias, la primera es el centro de salud situado en El Porvenir, la segunda es el la Institución Educativa N°14014 situado en el pueblo Nueva Esperanza.

El centro de salud de El Porvenir cuenta con una altura de 104,9 msnm. El equipo receptor se ubicó a espaldas del establecimiento cuyas coordenadas de ubicación definidas son, latitud: -4.886360°S y longitud -80.300580° W.

Datos	Nodo El Porvenir	To	Centro de salud El Porvenir
Coordenadas	-4.88578° S		-4.886360°S
	-80.30237° W		-80.300580° W
Distancia	0.209 Km		

Tabla 12. PMP El Porvenir to Centro de Salud de El Porvenir.

Fuente: Propia

La Institución Educativa N° 14014 de Nueva Esperanza cuenta con una altura de 111 msnm. El equipo receptor se unió en el sector lateral izquierdo del pabellón principal cuyas coordenadas de ubicación definidas son, latitud: -4.863860°S y longitud -80.290650° W.

Datos	Nodo El Porvenir	To	I.E N° 14014
Coordenadas	-4.88578° S		-4.863860°S
	-80.30237° W		-80.290650° W
Distancia	2.751 Km		

Tabla 13. PMP El Porvenir to I.E N° 14014 de Nueva Esperanza.

Fuente: Propia

En la imagen siguiente se muestra el diseño de los 7 enlaces PMP, como se puede identificar en los nodos Santa Julia y Bedia, San Miguel de seren y Mayta capac coberturan al beneficiario de su pueblo correspondiente a diferencia de El porvenir y Guaraguaos bajo que coberturan los pueblos en donde se ubican y a los pueblos optimizados es decir Nueva esperanza y Guaraguaos alto respectivamente.

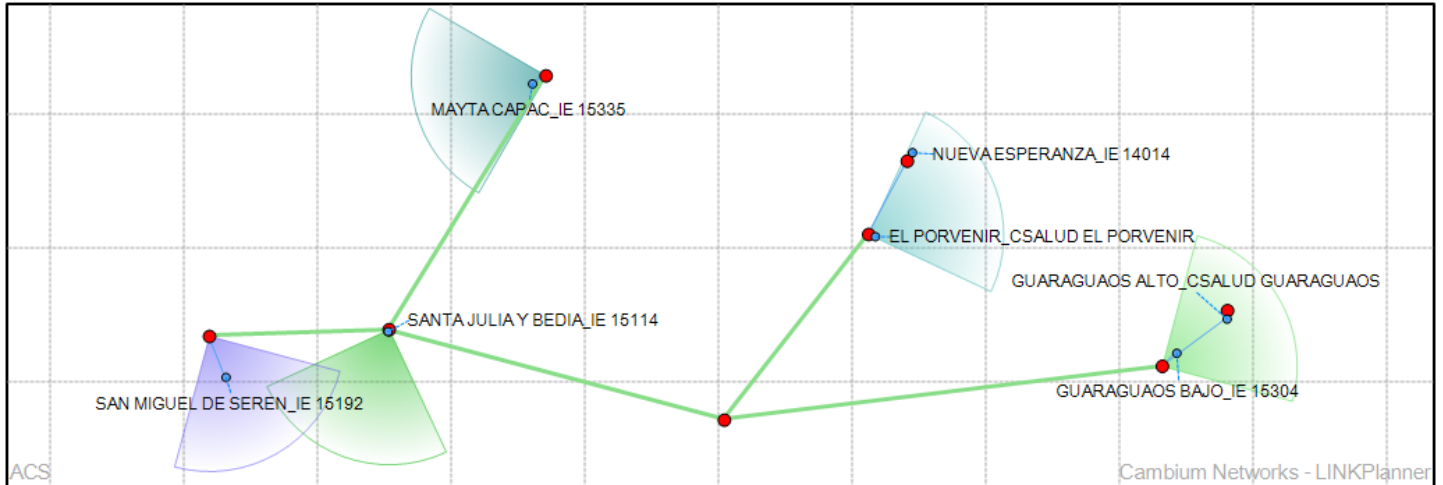


Figura N° 15. Diseño de los enlaces Point to Point (PMP).

Fuente: Propia/Link Planer.

4.2.3 DESARROLLO Y SIMULACIÓN DE RADIOENLACES

En esta sección se realizaron los cálculos teóricos tanto para los enlaces PTP como los PMP y las pruebas con sus respectivas simulaciones en el software Link Planer, cabe mencionar que los enlaces punto a punto operarán en la banda de 5,4GHZ y en los enlaces punto multi punto en la banda de 5,8GHZ; se tiene como objetivo que en los beneficiarios finales se cuente con una tasa de datos mínima de 50Mbps (throughput), 25Mbps de transmisión y 25Mbps de recepción ya que será una comunicación bidireccional.

4.2.3.1 NODO TAMBOGRANDE to NODO SANTA JULIA Y BEDIA(PTP)

Nodo Tambogrande es el nodo principal que enlaza al nodo intermedio Santa Julia y Bedia, como se sabe este enlace tiene una distancia de 10,292KM, ahora procedemos con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (Path Loss): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,4 \text{ GHZ} \quad d = 10,292 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,4 \times 10,292)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 127,40 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 24 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 34,5 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 127,40 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 34,5 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -38,4 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Aplicamos la formula N°8

$$PIRE(\text{dbm}) = P_r(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 24 + 34,5 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 57,5 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda Disponible: Los anchos de bandas disponibles dependen de los estándares IEEE u otros, que soporten cada equipo de radio según la recomendación de sus fabricantes; este enlace dará origen a 2 nuevos enlaces que parten del nodo Santa Julia y Bedia, en vista a ello asignaremos un ancho de banda de **45MHZ** a este PTP.

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): Con el estándar 802.11n se usa un nuevo conjunto de configuraciones designadas específicamente para *high throughput* (HT). En la Tabla N°14 se encuentran las tasas de Modulaciones y Esquemas de Codificación HT (*Modulation and Coding Schemes: MCS*) propias del equipo con el que se propone operar, para este diseño trabajamos con el PTP650 de la marca cambium Networks.

PTP 650 Software Modulation Mode	RX Threshold dBm	TX Power dBm	Aggregate Throughput Mbps
256 QAM .81 Dual	-59.1	+18	300.2
256 QAM .81 Single	-64.0	+18	150.1
64 QAM .92 Dual	-62.0	+18	252.9
64 QAM .75 Dual	-68.1	+18	206.7
64 QAM .92 Single	-65.9	+18	126.4
64 QAM .75 Single	-71.7	+18	103.3
16 QAM .87 Dual	-71.0	+20	160.8
16 QAM .63 Dual	-75.2	+22	115.6
16 QAM .87 Single	-74.8	+20	80.4
16 QAM .63 Single	-79.3	+22	57.8
QPSK .87 Single	-81.6	+23	40.2
QPSK .63 Single	-84.6	+24	28.9
BPSK .63 Single	-88.1	+25	14.4

**Tabla 14. Modulation Mode/Coding schemes PTP650-
Cambium Networks.**

Fuente: PTP & PTP SERIES SOLUTIONS (Eduardo Pintos, 2015)

Margen de desvanecimiento (Fade Margin):

Este PTP enlaza con Santa Julia y Bedia, de este nodo parten 2 enlaces más (San Miguel de Seren y Mayta Capac), teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector, entonces este enlace como mínimo debe soportar 150Mbps considerando los tres sectores mencionados, tomando en cuenta la tabla N° 14 la modulación adecuada para cumplir con este requerimiento es la 16QAM Dual quien me ofrece un throughput de 160,8Mbps siendo el indicado para cumplir con el mínimo

requerimiento en rendimiento, consecuentemente la sensibilidad (potencia umbral) es de: $P_u = -71\text{dbm}$ y la potencia de recepción ya calculada es: $P_n = -38,4\text{dbm}$, hacemos uso de la formula N°9.

$$FM = P_n - P_u \text{ [db]}$$

$$FM = -38,4 - (-71)$$

$$FM = 32,6 \text{ db}$$

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo Tambogrande la torre tiene una altura de 48m, y la antena que hará el PTP una altura de 46m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno quien está con color marrón, en el sector superior se puede identificar un perfil verde, este representa los árboles y obstáculos que existen en la línea de enlace, en link planer se ha asignado una altura promedio de 10m.

En el Nodo Santa Julia y Bedia la torre tiene una altura de 36m y la antena 34m, ambos equipos operan a una potencia de 24dbm y están en la banda de 5,4 Ghz.

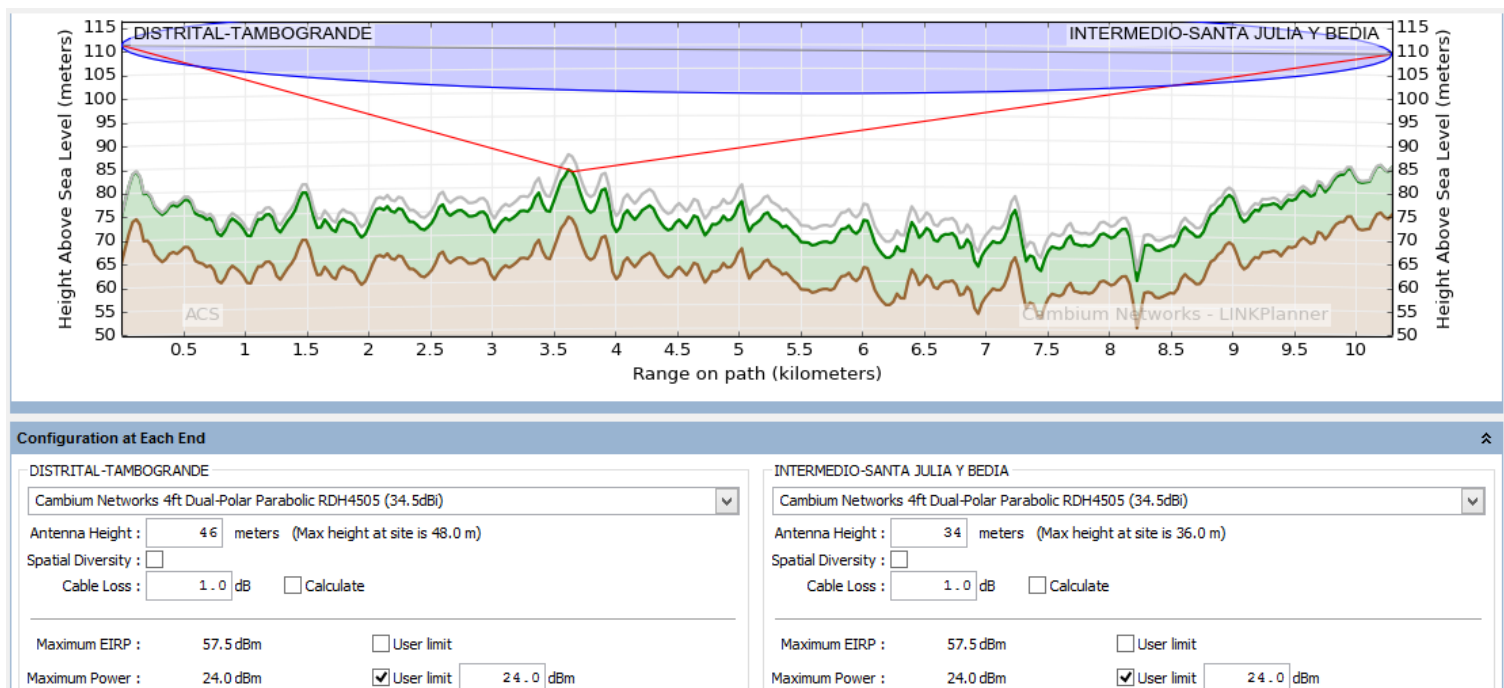


Figura N° 16. Perfil de elevación Enlace Tambogrande to Santa Julia y Bedia.

Fuente: Propia/Link Planer

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabaja el equipo PTP650, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details

Charts

Details

Common details

Mode:

256QAM

64QAM

64QAM

16QAM

16QAM

256QAM

64QAM

64QAM

16QAM

16QAM

QPSK

QPSK

BPSK

Code Rate:

0.81

0.92

0.75

0.87

0.63

0.81

0.92

0.75

0.87

0.63

0.87

0.63

0.63

Payloads:

Dual

Dual

Dual

Dual

Dual

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Max Aggregate IP Throughput (Mbps):

444.57

374.56

306.09

238.12

171.18

222.28

187.28

153.04

119.06

85.59

59.53

42.79

21.39

Performance to DISTRITAL-TAMBOGRANDE

Max IP Throughput (Mbps):

222.29

187.28

153.04

119.06

85.59

111.14

93.64

76.52

59.53

42.79

29.76

21.39

10.70

Fade Margin (dB):

17.73

22.15

26.13

29.20

32.80

21.20

25.38

29.23

32.26

36.74

39.06

43.08

46.18

Mode Availability (%):

99.9993

99.9995

99.9995

99.9995

99.9995

0.0005

0.0005

0.0005

0.0005

100.0000

100.0000

100.0000

100.0000

Receive Time in Mode (%):

99.9993

0.0002

0.0001

0.0000

0.0000

0.0005

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

Performance to INTERMEDIO-SANTA JULIA Y BEDIA

Max IP Throughput (Mbps):

222.29

187.28

153.04

119.06

85.59

111.14

93.64

76.52

59.53

42.79

29.76

21.39

10.70

Fade Margin (dB):

17.70

22.13

26.11

29.18

32.78

21.18

25.35

29.20

32.23

36.72

39.04

43.06

46.16

Mode Availability (%):

99.9993

99.9995

99.9995

99.9995

99.9995

0.0005

0.0005

0.0005

0.0005

100.0000

100.0000

100.0000

100.0000

Receive Time in Mode (%):

99.9993

0.0002

0.0001

0.0000

0.0000

0.0005

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

Figura N° 17. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Tambogrande to Santa Julia y Bedia.

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se ha optado en trabajar con la modulación 16QAM (0.87), teniendo un margen de desvanecimiento de 29,18db, una velocidad de transmisión 238,12Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.2 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO NODO SAN MIGUEL DE SEREN(PTP)

Nodo Santa Julia y Bedia es el nodo intermedio que enlaza al nodo terminal San Miguel de Seren, como se sabe este enlace tiene una distancia de 5,332KM, ahora procedemos con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (Path Loss): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,4 \text{ GHZ} \quad d = 5,332 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,4 \times 5,332)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 121,69 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 24 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 28,2 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 121,69 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 28,2 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -45,29 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Aplicamos la formula N°8.

$$PIRE(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 24 + 28,2 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 51,2 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda Disponible: Este enlace finaliza con el nodo con quien hace el PTP es decir el nodo San Miguel de Seren, este nodo solo brindó servicio al pueblo donde se encuentra ubicado, en vista a ello se asignó un ancho de banda de **20MHZ** a este PTP.

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): En este enlace se operó con el equipo PTP650 de la marca cambium Networks, entonces los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la tabla N14°.

Margen de desvanecimiento (Fade Margin):

Este enlace dió cobertura a San Miguel de Seren, teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector (pueblo beneficiario), entonces en este enlace debo ubicar una modulación que como mínimo proporcione 50Mbps, tomando en cuenta la tabla N° 14 la modulación adecuada para cumplir con este requerimiento es la 16QAM Dual quien me ofrece un throughput de 115,6Mbps, consecuentemente la sensibilidad (potencia umbral) es de: $P_u = -75,2\text{dbm}$ y la potencia de recepción ya calculada es: $P_n = -45,29\text{ dbm}$; hacemos uso de la formula N°9.

$$\begin{aligned} FM &= P_n - P_u [db] \\ FM &= -45,29 - (-75,2) \\ FM &= 29,91\text{ db} \end{aligned}$$

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo Santa Julia y Bedia la torre tiene una altura de 36m, y la antena con quien realizó el PTP una altura de 34m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar un perfil verde, este representa los árboles y obstáculos que existen en la línea de enlace, en link planer se ha asignado una altura promedio de 10m.

En el Nodo San Miguel de Seren la torre tiene una altura de 36m y la antena 34m, ambos equipos operan a una potencia de 24dbm y están en la banda de 5,4 Ghz.

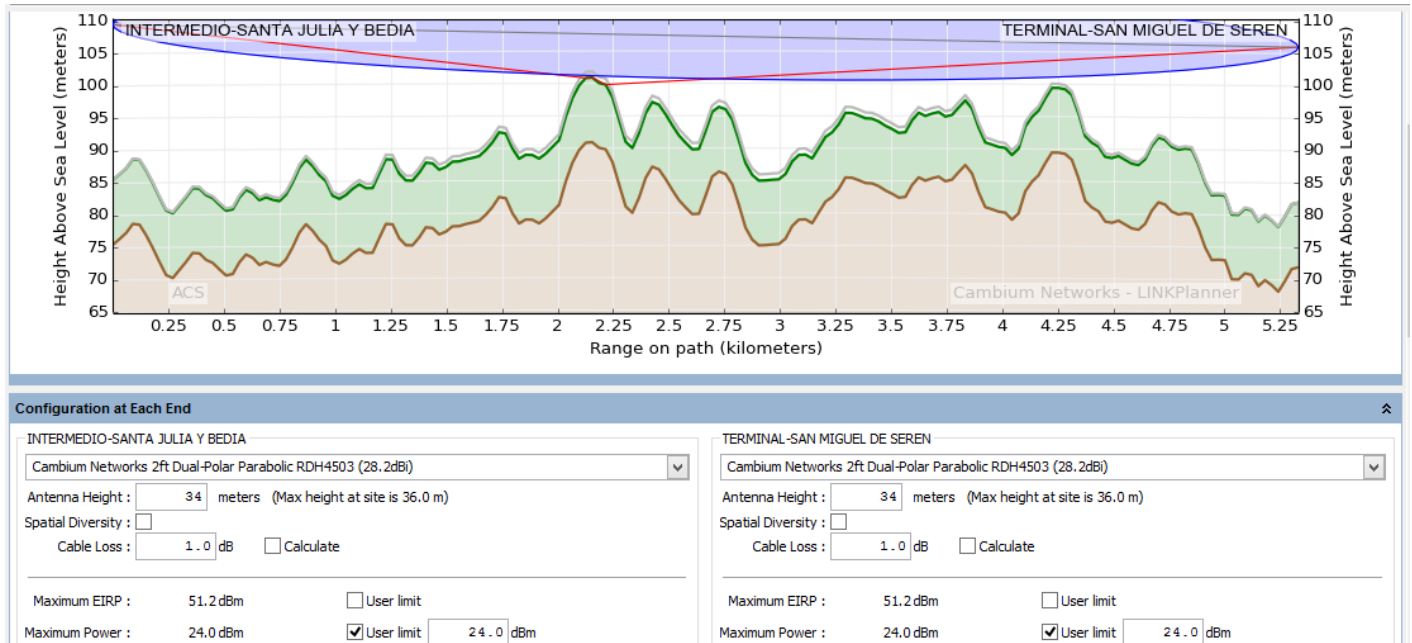


Figura N° 18. Perfil de elevación Enlace Santa Julia y Bedia to San Miguel de Seren.

Fuente: Propia/Link Planer

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabaja el equipo PTP650, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details

ChartsDetails

Common details

Mode:

256QAM

64QAM

64QAM

16QAM

16QAM

256QAM

64QAM

64QAM

16QAM

16QAM

QPSK

QPSK

BPSK

Code Rate:

0.81

0.92

0.75

0.87

0.63

0.81

0.92

0.75

0.87

0.63

0.87

0.63

0.63

Payloads:

Dual

Dual

Dual

Dual

Dual

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Single

Max Aggregate IP Throughput (Mbps):

198.59

167.32

138.73

106.37

76.47

99.29

83.66

68.36

53.18

38.23

26.59

19.11

9.55

Performance to INTERMEDIO-SANTA JULIA Y BEDIA

Max IP Throughput (Mbps):

99.30

83.66

68.37

53.19

38.23

49.65

41.83

34.18

26.59

19.12

13.29

9.56

4.78

Fade Margin (dB):

14.30

18.72

22.70

25.77

29.37

17.77

21.94

25.80

28.83

33.31

35.63

39.65

42.75

Mode Availability (%):

99.9995

99.9995

99.9995

99.9995

99.9995

0.0005

0.0005

0.0005

0.0005

100.0000

100.0000

100.0000

100.0000

Receive Time in Mode (%):

99.9995

0.0001

0.0000

0.0000

0.0000

0.0005

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

Performance to TERMINAL-SAN MIGUEL DE SEREN

Max IP Throughput (Mbps):

99.30

83.66

68.37

53.19

38.23

49.65

41.83

34.18

26.59

19.12

13.29

9.56

4.78

Fade Margin (dB):

14.30

18.72

22.70

25.77

29.37

17.77

21.94

25.80

28.83

33.31

35.63

39.65

42.75

Mode Availability (%):

99.9995

99.9995

99.9995

99.9995

99.9995

0.0005

0.0005

0.0005

0.0005

100.0000

100.0000

100.0000

100.0000

Receive Time in Mode (%):

99.9995

0.0001

0.0000

0.0000

0.0000

0.0005

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

0.0000

Figura N° 19. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Santa Julia y Bedia to San Miguel de Seren.

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se optó por trabajar con la modulación 16QAM (0.63), teniendo un margen de desvanecimiento de 29,37db, una velocidad de transmisión 76,47Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.3 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO NODO MAYTA CAPAC (PTP)

Nodo Santa Julia y Bedia es el nodo intermedio que enlaza al nodo terminal Mayta Capac, como se sabe este enlace tiene una distancia de 8,835KM, a continuación se procede con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (*Path Loss*): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,4 \text{ GHZ} \quad d = 8,835 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,4 \times 8,835)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 126,07 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 24 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 30,2 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 126,07 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 30,2 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -45,67 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Aplicamos la formula N°8.

$$PIRE(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 24 + 30,2 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 53,2 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda Disponible: Este enlace finaliza con el nodo con quien hace el PTP es decir el nodo Mayta Capac, este nodo solo brindó servicio

al pueblo donde se encuentra ubicado, en vista a ello asignaremos un ancho de banda de **20MHZ** a este PTP.

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): En este enlace se operó con el equipo PTP650 de la marca cambium Networks, los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la tabla N14°.

Margen de desvanecimiento (Fade Margin):

Este enlace dió cobertura a Mayta Capac, teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector (pueblo beneficiario), entonces en este enlace debo ubicar una modulación que como mínimo proporcione 50Mbps, tomando en cuenta la tabla N° 14 la modulación adecuada para cumplir con este requerimiento es la 16QAM Dual quien me ofrece un throughput de 115,6Mbps, consecuentemente la sensibilidad (potencia umbral) es de: $P_u = -75,2\text{dbm}$ y la potencia de recepción ya calculada es: $P_n = -45,67\text{dbm}$; hacemos uso de la formula N°9.

$$\begin{aligned} FM &= P_n - P_u [db] \\ FM &= -45,67 - (-75,2) \\ FM &= 29,53 db \end{aligned}$$

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo Santa Julia y Bedia la torre tiene una altura de 36m, y la antena con quien realizó el PTP una altura de 34m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar un perfil verde, este representa los árboles y obstáculos que existen en la línea de enlace, en link planer se ha asignado una altura promedio de 10m.

En el Nodo Mayta Capac la torre tiene una altura de 36m y la antena 34m, ambos equipos operan a una potencia de 24dbm y están en la banda de 5,4 Ghz.

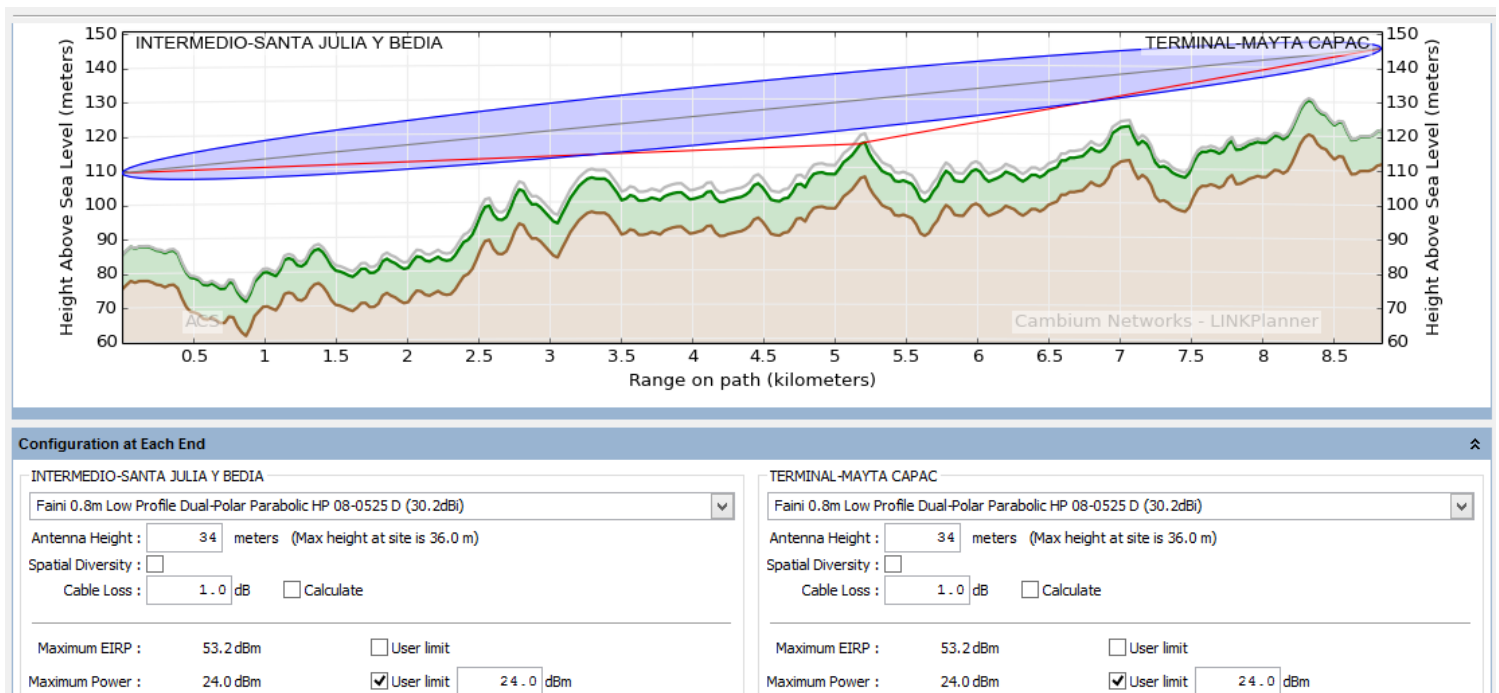


Figura N° 20. Perfil de elevación Enlace Santa Julia y Bedia to Mayta Capac.

Fuente: Propia/Link Planer

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabaja el equipo PTP650, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details

ChartsDetails

Common details

Mode:	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	256QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	BPSK
Code Rate:	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.81	0.92	0.75	0.87	0.63	0.87	0.63	0.63
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Max Aggregate IP Throughput (Mbps):	197.12	166.07	135.71	105.58	75.90	98.56	83.04	67.85	52.79	37.95	26.39	18.97	9.48

Performance to INTERMEDIO-SANTA JULIA Y BEDIA

Max IP Throughput (Mbps):	98.56	83.04	67.86	52.79	37.95	49.28	41.52	33.93	26.39	18.97	13.20	9.49	4.74
Fade Margin (dB):	13.83	18.25	22.23	25.31	28.90	17.30	21.48	25.33	28.36	32.84	35.16	39.18	42.29
Mode Availability (%):	99.9994	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9994	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Performance to TERMINAL-MAYTA CAPAC

Max IP Throughput (Mbps):	98.56	83.04	67.86	52.79	37.95	49.28	41.52	33.93	26.39	18.97	13.20	9.49	4.74
Fade Margin (dB):	13.83	18.25	22.23	25.31	28.90	17.30	21.48	25.33	28.36	32.84	35.16	39.18	42.29
Mode Availability (%):	99.9994	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000	100.0000	100.0000	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9994	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura N° 21. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Santa Julia y Bedia to Mayta Capac.

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se ha optado en trabajar con la modulación 16QAM (0.63), teniendo un margen de desvanecimiento de 28,90db, una velocidad de transmisión 75,90Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.4 NODO TAMBOGRANDE TO NODO GUARAGUAOS BAJO

Nodo Tambogrande es el nodo principal que enlaza al nodo terminal Guaraguaos Bajo, como se sabe este enlace tiene una distancia de 13,079KM, ahora procedemos con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (*Path Loss*): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,4 \text{ GHZ} \quad d = 13,079 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,4 \times 13,079)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 129,48 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 24 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 31,4 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 129,48 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 31,4 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -46,68 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Aplicamos la formula N°8.

$$PIRE(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 24 + 31,4 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 54,4 \text{ dbm}$$

Ancho de Banda Disponible: Este enlace termina con el nodo con quien hace el PTP es decir el nodo Guaraguaos Bajo, este nodo dió servicio al

pueblo donde se encuentra ubicado y a la vez al pueblo optimizado, es decir Guaraguaos Alto, por lo tanto el ancho de banda debe incrementarse a **30MHZ** para este PTP al tener un mayor número de usuarios.

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): En este enlace se operó con el equipo PTP650 de la marca cambium Networks, entonces los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la tabla N14°.

Margen de desvanecimiento (Fade Margin):

Este enlace dió cobertura a los pueblo de Guaraguaos Bajo y Guaraguaos Alto a partir del nodo de Guaraguaos Bajo, se requiere como mínimo 50Mbps por cada sector (pueblo beneficiario) y 50Mbps más para el sector optimizado, entonces en este enlace debo ubicar una modulación que como mínimo proporcione 100Mbps, tomando en cuenta la tabla N° 14 la modulación adecuada para cumplir con este requerimiento es la 16QAM Dual quien me ofrece un throughput de 115,6Mbps, consecuentemente la sensibilidad (potencia umbral) es de: $P_u = -75,2\text{dbm}$ y la potencia de recepción ya calculada es: $P_n = -46,68\text{ dbm}$; hacemos uso de la formula N°9.

$$\begin{aligned} FM &= P_n - P_u [db] \\ FM &= -46,68 - (-75,2) \\ FM &= 28,52\text{ db} \end{aligned}$$

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo Tambogrande la torre tiene una altura de 48m, y la antena con quien realizó el PTP una altura de 36m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar un perfil verde, este representa los árboles y obstáculos que existen en la línea de enlace, en link planer se ha asignado una altura promedio de 10m.

En el Nodo Guaraguaos Bajo la torre tiene una altura de 30m y la antena 28m, ambos equipos operan a una potencia de 24dbm y están en la banda de 5,4 GHz.

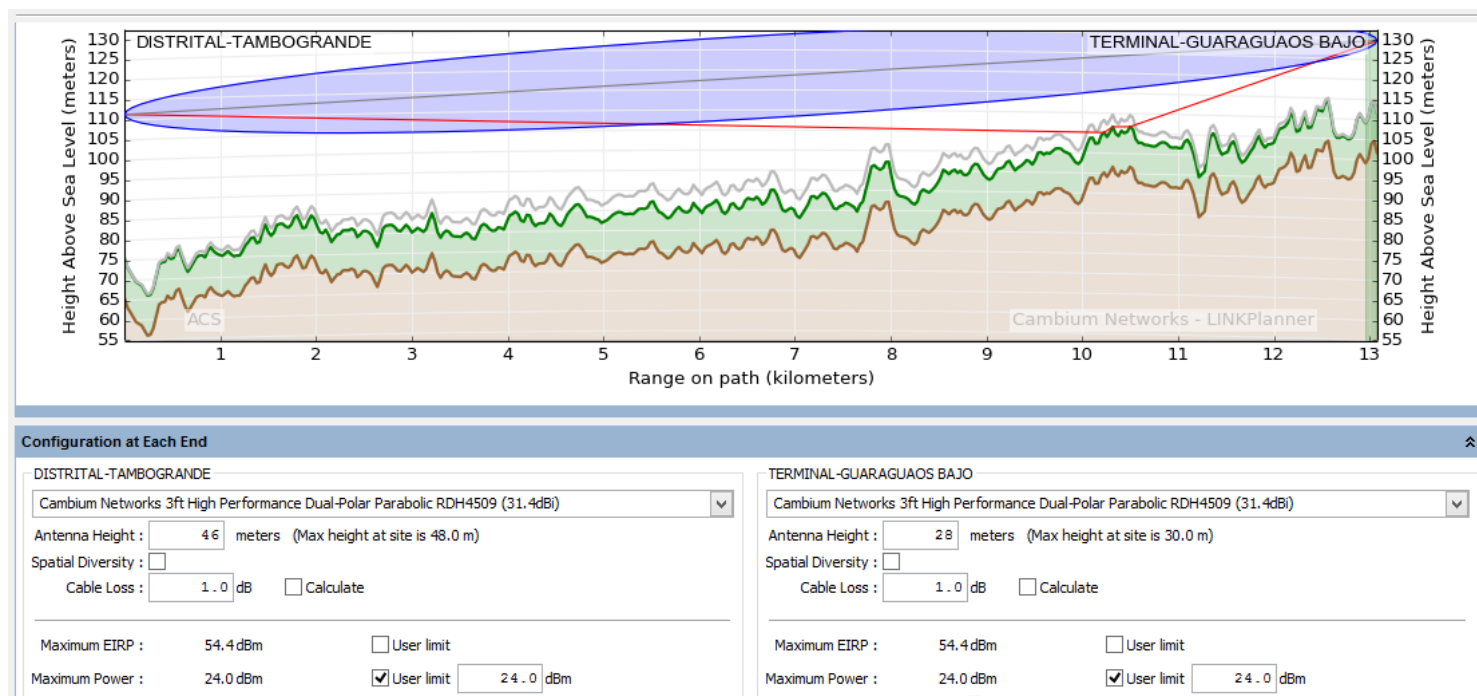


Figura N° 22. Perfil de elevación Enlace Tambogrande to Guaraguaos Bajo

Fuente: Propia/Link Planer

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabaja el equipo PTP650, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details

ChartsDetails

Common details

Mode:

256QAM64QAM64QAM16QAM16QAM256QAM64QAM64QAM16QAM16QAMQPSKQPSKBPSK

Code Rate:

0.810.920.750.870.630.810.920.750.870.630.870.630.63

Payloads:

DualDualDualDualDualSingleSingleSingleSingleSingleSingleSingleSingle

Max Aggregate IP Throughput (Mbps):

296.55249.88204.18158.84114.19148.27124.93102.0979.4257.0939.7128.5414.27

Performance to DISTRITAL-TAMBOGRANDE

Max IP Throughput (Mbps):

148.28124.93102.0979.4257.0974.1462.4651.0439.7128.5519.8514.277.13

Fade Margin (dB):

11.0315.4619.4322.5126.1114.5018.6822.5325.5630.0532.3736.3839.49

Mode Availability (%):

99.998699.999099.999499.999599.99950.00050.00050.00050.0005100.0000100.0000100.0000100.0000

Receive Time in Mode (%):

99.99860.00240.00040.00010.00000.00050.00000.00000.00000.00000.00000.00000.0000

Performance to TERMINAL-GUARAGUAOS BAJO

Max IP Throughput (Mbps):

148.28124.93102.0979.4257.0974.1462.4651.0439.7128.5519.8514.277.13

Fade Margin (dB):

11.0315.4619.4322.5126.1114.5018.6822.5325.5630.0532.3736.3839.49

Mode Availability (%):

99.998699.999099.999499.999599.99950.00050.00050.00050.0005100.0000100.0000100.0000100.0000

Receive Time in Mode (%):

99.99860.00240.00040.00010.00000.00050.00000.00000.00000.00000.00000.00000.0000

Figura N° 22. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Tambogrande to Guaraguaos Bajo

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se optó por trabajar con la modulación 16QAM (0.63), teniendo un margen de desvanecimiento de 26,11db, una velocidad de transmisión 114,19Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.5 PLAN DE FRECUENCIAS PARA RED PTP

Se procede con el cálculo de Portadoras para una banda de 5,325Mhz a 5,450Mhz para la asignación de frecuencias de sus respectivos enlaces como:

- Nodo Tambogrande to Nodo Santa Julia y Bedia.
- Nodo Santa Julia y Bedia to Nodo San Miguel de Seren.
- Nodo Santa Julia y Bedia to Nodo Mayta Capac.
- Nodo Tambogrande to Nodo Guaraguaos Bajo.
- Nodo Tambogrande to Nodo El porvenir.

$$F1 = \frac{5.325 + 5.340625}{2} = 5.332812$$

$$F2 = \frac{5.340625 + 5.35625}{2} = 5.348437$$

$$F3 = \frac{5.35625 + 5.371875}{2} = 5.364062$$

$$F4 = \frac{5.371875 + 5.3875}{2} = 5.379687$$

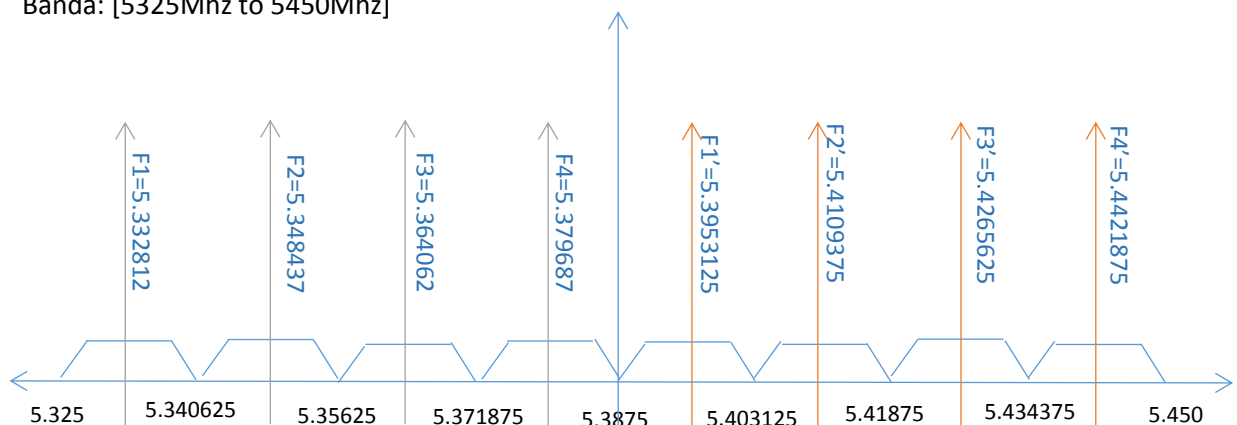
$$F1' = \frac{5.3875 + 5.403125}{2} = 5.3953125$$

$$F2' = \frac{5.403125 + 5.41875}{2} = 5.4109375$$

$$F3' = \frac{5.41875 + 5.434375}{2} = 5.4265625$$

$$F4' = \frac{5.434375 + 5.450}{2} = 5.4421875$$

Banda: [5325Mhz to 5450Mhz]



Gráfica N° 1. Plan de frecuencias de red PTP

Fuente: Propia

4.2.3.6 DIAGRAMA-PLAN DE FRECUENCIAS PARA RED PTP

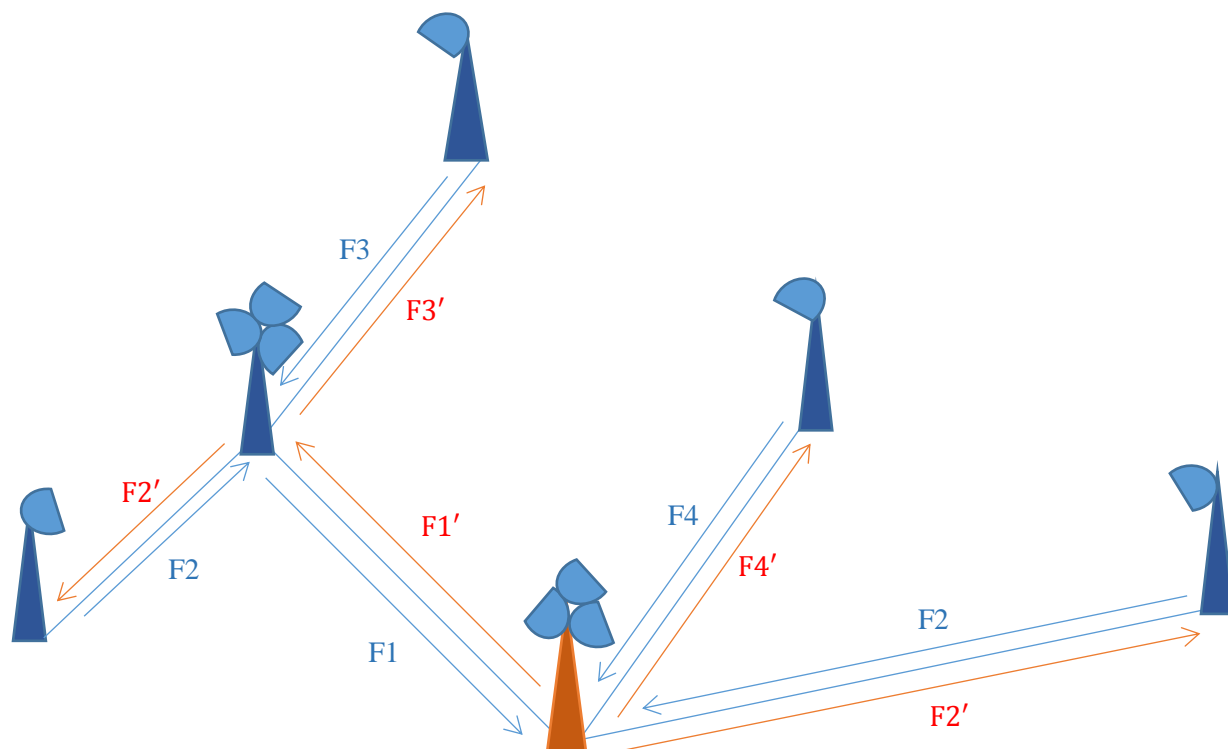


Figura N° 23. Diagrama de plan de frecuencias de red PTP

Fuente: Propia

A continuación se muestra los enlaces simulados desde los nodos hacia los beneficiarios es decir a las entidades públicas, en la sección 4.2.3 se ha especificado las entidades beneficiarias, se ha asignado una entidad pública para cada pueblo que contiene a su vez un nodo, cabe resaltar que los nodos El porvenir y Guaraguaos bajo a su vez coberturaron a los pueblos optimizados Nueva esperanza y Guaraguaos alto respectivamente.

4.2.3.7 NODO SANTA JULIA Y BEDIA to INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15114 (PMP)

El enlace del nodo Santa Julia y Bedia tiene una distancia de 0,067km con la I.E N°15114, ahora procedemos con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (Path Loss): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,8 \text{ GHZ} \quad d = 0,067 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,8 \times 0,067)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 84,29 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 30 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 84,29 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 16 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -24,29 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Aplicamos la formula N°8.

$$PIRE(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 30 + 18 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 47 \text{ dbm}$$

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): En este enlace se operó con el equipo epmp force180 y epmp1000 de la marca cambium Networks, los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la siguiente tabla.

Throughput for ePMP 50/50 Ratio)

MCS	Spatial Streams	Mod. Type	Coding Rate	5 MHz		10 MHz		20 MHz		40 MHz	
				DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
MCS 15	2	64-QAM	5/6	10.5	11.4	25.9	26.9	56.5	58.4	115	114
MCS 14	2	64-QAM	3/4	9.35	10.3	23.4	24.2	50.6	51.8	104	105
MCS 13	2	64-QAM	2/3	8.19	9.17	21.1	21.5	44.6	46.7	94.2	95.7
MCS 12	2	16-QAM	3/4	6.23	6.9	15.6	16	33.6	34.8	70.4	72.3
MCS 11	2	16-QAM	1/2	4.09	4.56	10.5	10.6	22.4	23.1	46.9	47.8
MCS 10	2	QPSK	3/4	3.12	3.38	7.84	8.01	16.4	17.1	35.2	35.9
MCS 9	2	QPSK	1/2	1.95	2.24	5.08	5.27	11.1	11.3	23.4	23.5
MCS 7	1	64-QAM	5/6	5.26	5.85	12.9	13.7	28.2	28.7	58.9	60.8
MCS 6	1	64-QAM	3/4	4.68	5.33	11.7	12.2	25.8	25.9	54.1	53.7
MCS 5	1	64-QAM	2/3	4.21	4.69	10.5	10.7	22.3	23.1	47.1	48
MCS 4	1	16-QAM	3/4	3.12	3.45	7.82	8.01	16.8	17.1	35.2	36
MCS 3	1	16-QAM	1/2	2	2.26	5.16	5.3	11.1	11.3	23.4	23.8
MCS 2	1	QPSK	3/4	1.55	1.66	3.75	3.91	8.22	8.47	17.6	17.9
MCS 1	1	QPSK	1/2	0.938	1.07	2.35	2.35	5.49	5.63	11.8	11.8

Tabla 15. Modulation Mode/Coding schemes Force180 and Force200 Cambium Networks.

Fuente: www.balticnetworks.com/docs/ePMPUserGuide.pdf (Cambium networks, 2017)

Ancho de Banda Disponible: Este enlace cobertura a la institución educativa N°15114, el nodo Santa julia y bedia, solo dió servicio al pueblo donde se encuentra ubicado, teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector (pueblo beneficiario), entonces para este enlace se ubicó un ancho de banda propicio que satisfaga estos requerimientos de rendimiento, tomando en cuenta la tabla N°15 se concluyó operar con un ancho de banda de **20MHZ** a este PMP.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Considerando la tabla N°15 las modulaciones adecuadas para cumplir con este requerimiento es la 64QAM y 16QAM (MCS13 y MCS12 respectivamente) quien ofrece un throughput entre 68Mbps y 90Mbps mínimos.

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo Santa Julia y Bedia la torre tiene una altura de 36m, y la antena con quien realizó el PMP está a una altura de 35m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno, es quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar el perfil de obstáculos, es quien tiene color verde, este representa los árboles, construcciones, barreras, etc. que existen en la línea de enlace, a este perfil de obstáculos se le ha asignado una altura promedio de 10m, el equipo que se ha asignado en este nodo es el epmp1000 quien funciona con una potencia de 30dbm.

En la I.E N°15114 se planteó emplear una torre ventada de una altura de 11m y la antena a 10m, el equipo que opera en la I.E es el force180 que trabaja con una potencia de transmisión de 10dbm, ambos equipos están en la banda de 5,8 GHz, seguidamente se muestran las imágenes de la simulación.

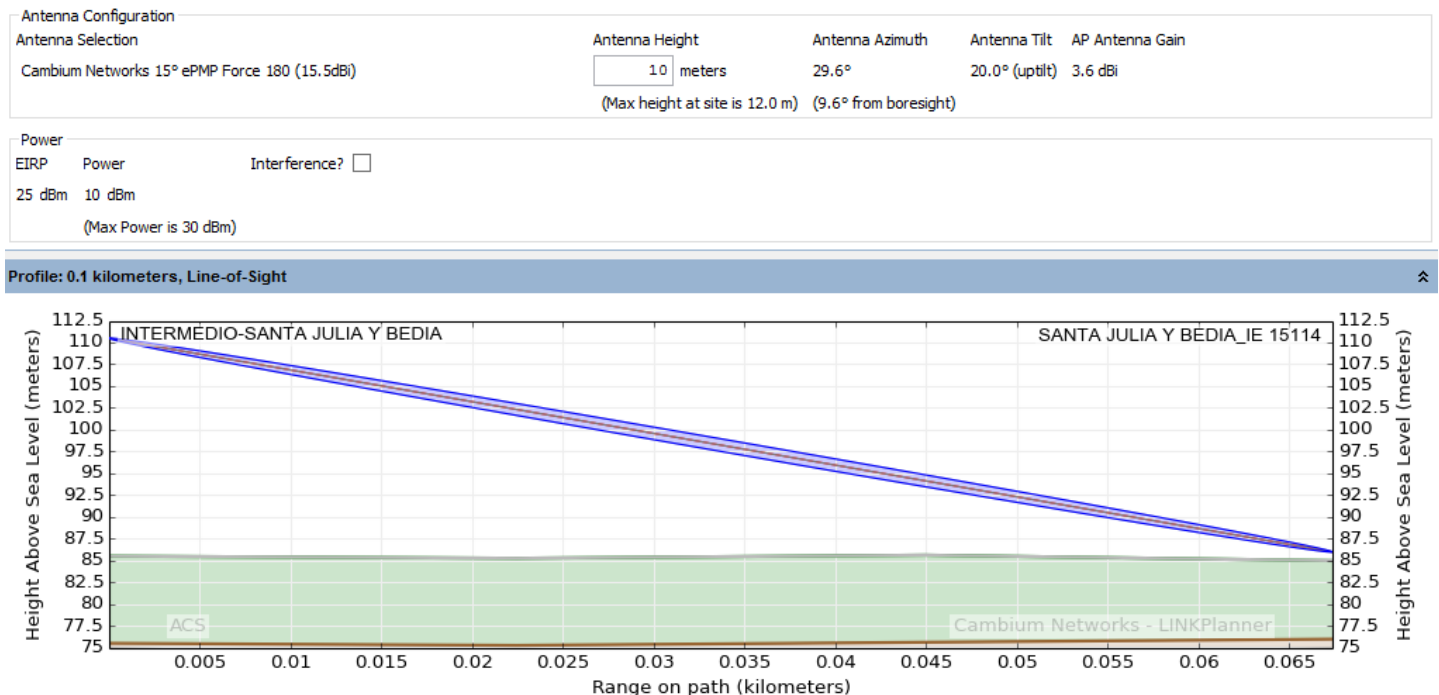


Figura N° 24. Perfil de elevación Enlace Santa Julia y Bedia to I.E N°15114 de Santa julia y bedia.

Fuente: Propia/Link Planer

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabajan los equipos epmp1000/Force180, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details														
Common details														
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4	MCS3	MCS2	MCS1
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	118.3	106.4	94.7	71.2	47.4	35.5	23.8	59.0	53.2	47.4	35.5	23.8	17.7	11.7
Performance to Access Point														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	59.3	53.4	47.6	35.7	23.8	17.7	11.9	29.6	26.7	23.8	17.7	11.9	9.0	5.8
Fade Margin (dB):	23.9	27.9	30.9	36.9	39.9	44.9	46.9	23.9	27.9	30.9	36.9	39.9	44.9	48.9
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	59.0	53.0	47.1	35.5	23.6	17.7	11.9	29.4	26.5	23.6	17.7	11.9	8.7	5.8
Fade Margin (dB):	20.9	25.9	29.9	37.9	40.9	43.9	46.9	23.9	27.9	31.9	39.9	43.9	47.9	48.9
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura N° 25. Margen de desvanecimiento y disponibilidad del enlace Santa Julia y Bedia to I.E N°15114 de Santa Julia y Bedia.

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se ha optado en trabajar con la modulación 64QAM (MCS13), teniendo un margen de desvanecimiento de 29,90db, una velocidad de transmisión 94,70Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.8 NODO SAN MIGUEL DE SEREN to INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15192 (PMP)

El enlace del nodo Santa Julia y Bedia tiene una distancia de 1,308km con la I.E N°15192, ahora procedemos con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (Path Loss): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,8 \text{ GHZ} \quad d = 1,308 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,8 \times 1,308)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 110,10 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 30 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 110,10 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 25 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -41,1 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Aplicamos la formula N°8.

$$PIRE(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 30 + 18 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 47 \text{ dbm}$$

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): En este enlace se operó con el equipo epmp force200 y epmp1000 de la marca cambium Networks, los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la tabla N°15.

Ancho de Banda Disponible: Este enlace cobertura a la institución educativa N°15192, el nodo San miguel de seren solo dió servicio al pueblo donde se encuentra ubicado, teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector (pueblo beneficiario), entonces para este enlace se ubicó un ancho de banda propicio que satisfaga estos requerimientos de rendimiento, tomando en cuenta la tabla N°15 se concluyó operar con un ancho de banda de **20MHZ** a este PMP.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Considerando la tabla N°15 las modulaciones adecuadas para cumplir con este requerimiento es la 64QAM y 16QAM (MCS13 y MCS12 respectivamente) quien ofrece un throughput entre 68Mbps y 90Mbps mínimos.

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo San miguel de seren la torre tiene una altura de 36m, y la antena con quien realizó el enlace PMP está a una altura de 35m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno, es quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar el perfil de obstáculos, es quien tiene color verde, este representa los árboles, construcciones, barreras, etc. que existen en la línea de enlace, a este perfil de obstáculos se le ha asignado una altura promedio de 10m, el equipo que se ha asignado en este nodo es el epmp1000 quien funciona con una potencia de 30dbm.

En la I.E N°15192 se planteó emplear una torre ventada de una altura de 11m y la antena a 10m, el equipo que opera en la I.E es el force200 que trabaja con una potencia de transmisión de 11dbm y cuenta con una ganancia de 25dbi, ambos equipos están en la banda de 5,8 GHz, seguidamente se muestran las imágenes de la simulación.

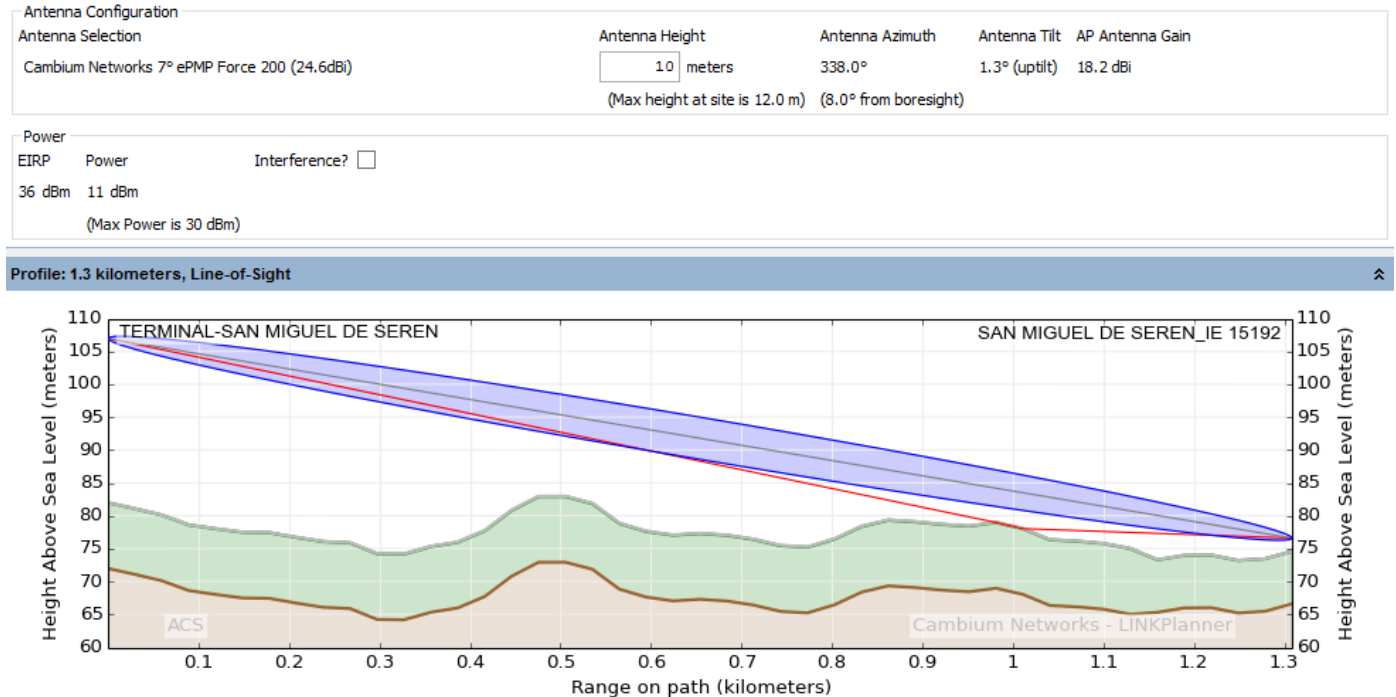


Figura N° 26. Perfil de elevación enlace San miguel de seren to I.E N°15192.

Fuente: Propia/Link Planer

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabajan los equipos epmp1000/Force180, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details

Common details														
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4	MCS3	MCS2	MCS1
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	118.3	108.4	94.7	71.2	47.4	35.5	23.8	59.0	53.2	47.4	35.5	23.8	17.7	11.7
Performance to Access Point														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	59.3	53.4	47.6	35.7	23.8	17.7	11.9	29.6	26.7	23.8	17.7	11.9	9.0	5.8
Fade Margin (dB):	22.4	26.4	29.4	35.4	38.4	43.4	45.4	22.4	26.4	29.4	35.4	38.4	43.4	47.4
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	59.0	53.0	47.1	35.5	23.6	17.7	11.9	29.4	26.5	23.6	17.7	11.9	8.7	5.8
Fade Margin (dB):	19.4	24.4	28.4	36.4	39.4	42.4	45.4	22.4	26.4	30.4	38.4	42.4	46.4	47.4
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura N° 27. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace San miguel de seren to I.E N°15192.

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se ha optado en trabajar con la modulación 64QAM (MCS13), teniendo un margen de desvanecimiento de 28,40db, una velocidad de transmisión 94,70Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.9 NODO MAYTA CAPAC TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15335 (PMP)

El enlace del nodo Santa Julia y Bedia tiene una distancia de 0,465km con la I.E N°15335, ahora procedemos con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (*Path Loss*): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,8 \text{ GHZ} \quad d = 0,465 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,8 \times 0,465)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 101,12 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 30 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 101,12 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 16 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -41,12 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE): Aplicamos la formula N°8.

$$PIRE(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 30 + 18 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 47 \text{ dbm}$$

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): En este enlace se operó con el equipo epmp force180 y epmp1000 de la marca cambium Networks, los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la tabla N°15.

Ancho de Banda Disponible: Este enlace cobertura a la institución educativa N°15335, el nodo Mayta Capac solo dió servicio al pueblo donde se encuentra ubicado, teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector (pueblo beneficiario), entonces para este enlace se ubicó un ancho de banda propicio que satisfaga estos requerimientos de rendimiento, tomando en cuenta la tabla N°15 se concluyó operar con un ancho de banda de **20MHZ** a este PMP.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Considerando la tabla N°15 las modulaciones adecuadas para cumplir con este requerimiento es la 64QAM y 16QAM (MCS13 y MCS12 respectivamente) quien ofrece un throughput entre 68Mbps y 90Mbps mínimos.

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo San miguel de seren la torre tiene una altura de 36m, y la antena con quien realizó el enlace PMP está a una altura de 35m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno, es quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar el perfil de obstáculos, es quien tiene color verde, este representa los árboles, construcciones, barreras, etc. que existen en la línea de enlace, a este perfil de obstáculos se le ha asignado una altura promedio de 10m, el equipo que se ha asignado en este nodo es el epmp1000 quien funciona con una potencia de 30dbm.

En la I.E N°15335 se plantea instalar una torre ventada de una altura de 11m y la antena a 10m, el equipo que opera en la I.E es el force180 que trabaja con una potencia de transmisión de 13dbm y cuenta con una ganancia de 16dbi, ambos equipos están en la banda de 5,8 GHz, seguidamente se muestran las imágenes de la simulación.

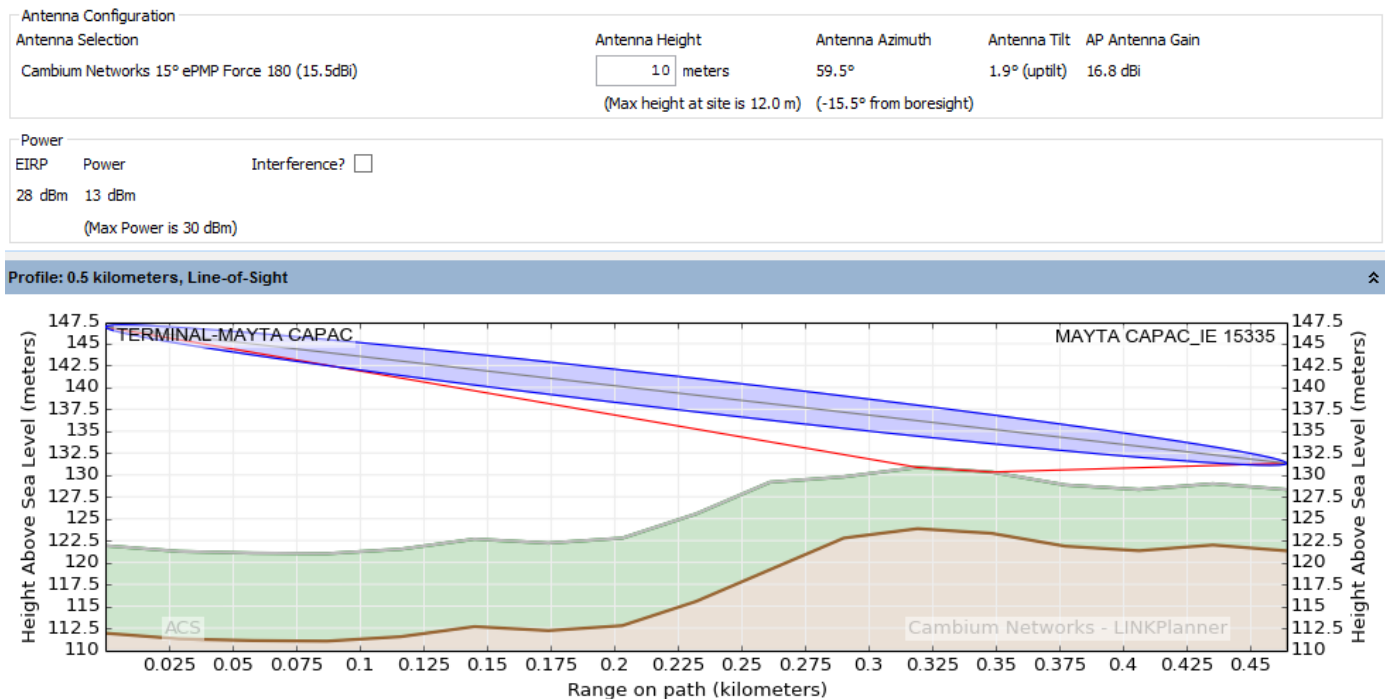


Figura N° 28. Perfil de elevación enlace Mayta capac to I.E N°15335.

Fuente: Propia/Link Planer

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabajan los equipos epmp1000/Force180, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details													
Common details													
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4	MCS3	MCS2
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	118.3	106.4	94.7	71.2	47.4	35.5	23.8	59.0	53.2	47.4	35.5	23.8	11.7
Performance to Access Point													
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	59.3	53.4	47.6	35.7	23.8	17.7	11.9	29.6	26.7	23.8	17.7	11.9	5.8
Fade Margin (dB):	20.7	24.7	27.7	33.7	36.7	41.7	43.7	20.7	24.7	27.7	33.7	36.7	45.7
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module													
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	59.0	53.0	47.1	35.5	23.6	17.7	11.9	29.4	26.5	23.6	17.7	11.9	5.8
Fade Margin (dB):	17.7	22.7	26.7	34.7	37.7	40.7	43.7	20.7	24.7	28.7	36.7	40.7	45.7
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura N° 29. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Mayta capac to I.E N°15335.

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se ha optado en trabajar con la modulación 64QAM (MCS13), teniendo un margen de desvanecimiento de 26,70db, una velocidad de transmisión 94,70Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.10 NODO GUARAGUAOS BAJO (PMP)

El nodo Guaraguaos Bajo cobertura a la institución educativa N° 15304 del mismo pueblo de Guaraguaos bajo, a su vez este nodo brindó servicio al pueblo optimizado siendo el pueblo de Guaraguaos alto considerando como entidad beneficiaria al Centro de salud de este sector, a continuación se procede con los cálculos correspondientes los beneficiarios mencionados.

4.2.3.10.1 NODO GUARAGUAOS BAJO TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15304 (PMP)

El enlace del nodo Guaraguaos bajo tiene una distancia de 0,577km con la I.E N°15304, ahora procedemos con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (Path Loss): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,8 \text{ GHZ} \quad d = 0,577 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,8 \times 0,577)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 102,99 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 30 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 102,99 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 16 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -42,99 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE):

$$\begin{aligned}PIRE(dbm) &= P_T(dbm) + G_T(dbi) - A_{g1}(db) \\PIRE(dbm) &= 30 + 18 - 1 \\PIRE(dbm) &= 47dbm\end{aligned}$$

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates): En este enlace se operó con el equipo epmp force180 y epmp1000 de la marca cambium Networks, los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la tabla N°15.

Ancho de Banda Disponible: Este enlace cobertura a la institución educativa N°15304, teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector, entonces para este enlace se ubicó un ancho de banda propicio que satisfaga estos requerimientos de rendimiento, tomando en cuenta la tabla N°15 se concluyó operar con un ancho de banda de **20MHZ** a este PMP.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Considerando la tabla N°15 las modulaciones adecuadas para cumplir con este requerimiento es la 64QAM y 16QAM (MCS13 y MCS12 respectivamente) quien ofrece un throughput entre 68Mbps y 90Mbps mínimos.

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo Guaraguaos bajo la torre tiene una altura de 30m, y la antena con quien realizó el enlace PMP está a una altura de 29m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno, es quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar el perfil de obstáculos, es quien tiene color verde, este

representa los árboles, construcciones, barreras, etc. que existen en la línea de enlace, a este perfil de obstáculos se le ha asignado una altura promedio de 10m, el equipo que se ha asignado en este nodo es el epmp1000 quien funciona con una potencia de 30dbm.

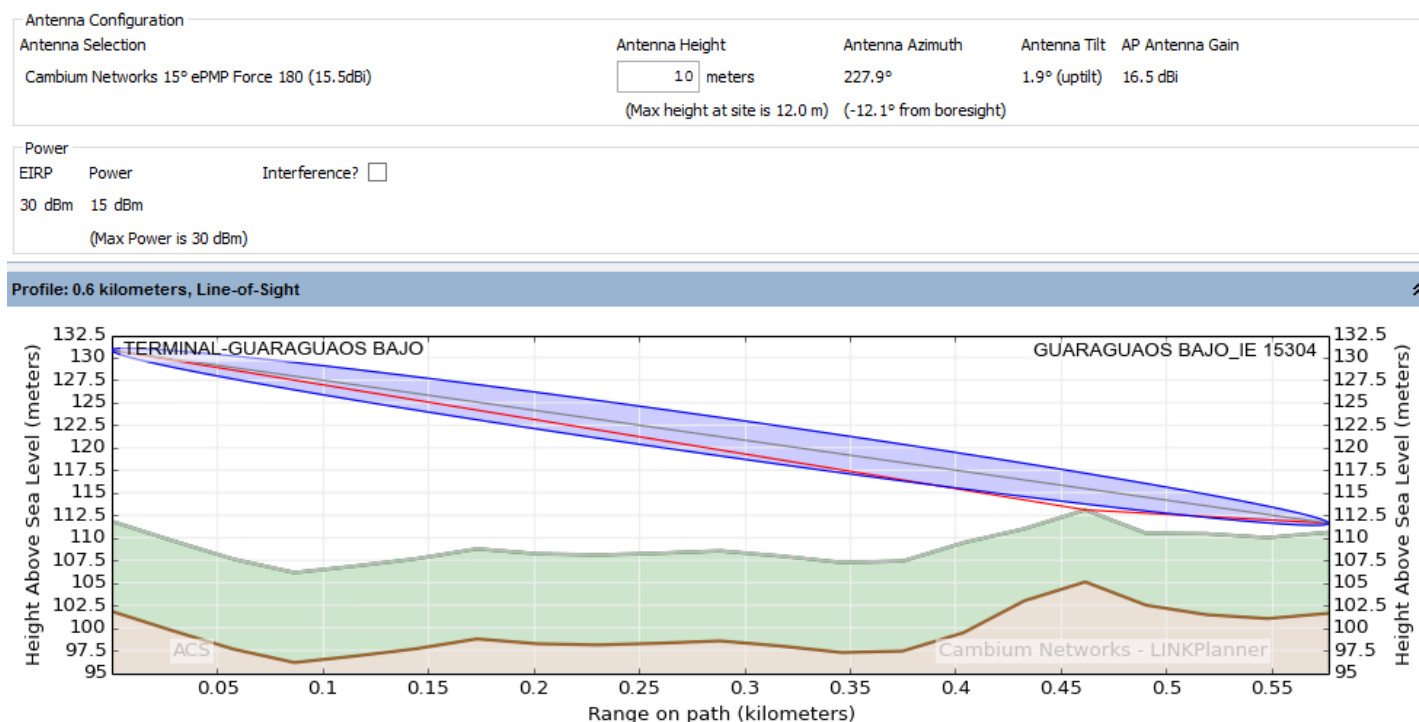


Figura N° 30. Perfil de elevación enlace Guaraguaos bajo to I.E N°15304.

Fuente: Propia/Link Planer

En la I.E N°15304 se planteó emplear una torre ventada de una altura de 11m y la antena a 10m, el equipo que opera en la I.E es el force180 que trabaja con una potencia de transmisión de 15dbm y cuenta con una ganancia de 16dbi, ambos equipos están en la banda de 5,8 GHz, seguidamente se muestran las imágenes de la simulación.

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabajan los equipos epmp1000/Force180, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una

disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details														
Common details														
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4	MCS3	MCS2	MCS1
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	113.7	102.5	91.3	68.0	45.7	34.0	22.3	56.8	51.5	45.7	34.0	22.3	17.5	11.7
Performance to Access Point														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	56.8	51.0	45.7	34.0	22.8	17.0	11.2	28.2	25.8	22.8	17.0	11.2	8.7	5.8
Fade Margin (dB):	18.8	22.8	25.8	31.8	34.8	39.8	41.8	18.8	22.8	25.8	31.8	34.8	39.8	43.8
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	56.8	51.5	45.7	34.0	22.8	17.0	11.2	28.7	25.8	22.8	17.0	11.2	8.7	5.8
Fade Margin (dB):	15.8	20.8	24.8	32.8	35.8	38.8	41.8	18.8	22.8	26.8	34.8	38.8	42.8	43.8
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Figura N° 31. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace Guaraguaos bajo to I.E N°15304.

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se ha optado en trabajar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 32,80db, una velocidad de transmisión 68Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.2.3.10.2 NODO GUARAGUAOS BAJO TO CENTRO DE SALUD DE GUARAGUAOS ALTO (PMP)

El enlace del nodo Guaraguaos bajo tiene una distancia de 2,374km con el Centro de Salud del sector optimizado de Guaraguaos alto, a continuación se procede con los cálculos correspondientes:

Atenuación en el espacio libre (Path Loss): utilizamos la formula N°5 dada por la ecuación siguiente:

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(F \times d)[\text{db}], F [\text{GHZ}], d [\text{KM}]$$

$$F = 5,8 \text{ GHZ} \quad d = 2,374 \text{ km}$$

$$A_{EL} = 92,5 \text{ db} + 20 \log(5,8 \times 2,374)[\text{db}]$$

$$A_{EL} = 115,28 \text{ db}$$

Potencia de recepción: hacemos uso de la formula N°6 dada por la ecuación siguiente:

$$P_r(\text{dbm}) = P_t(\text{dbm}) - A_{c1}(\text{db}) - A_{g1}(\text{db}) + G_{a1}(\text{dbi}) - A_{EL}(\text{db}) + G_{a2}(\text{dbi}) - A_{c2}(\text{db}) - A_{g2}(\text{db})$$

$$P_t = 30 \text{ dbm}$$

$$A_{c1} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g1} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a1} = 18 \text{ dbi}$$

$$A_{EL} = 115,28 \text{ db}$$

$$A_{c2} = 1 \text{ db}$$

$$A_{g2} = 1 \text{ db}$$

$$G_{a2} = 25 \text{ dbi}$$

$$P_r(\text{dbm}) = -46,28 \text{ dbm}$$

Potencia Isotrópica Radiada Efectiva (PIRE):

$$PIRE(\text{dbm}) = P_T(\text{dbm}) + G_T(\text{dbi}) - A_{g1}(\text{db})$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 30 + 18 - 1$$

$$PIRE(\text{dbm}) = 47 \text{ dbm}$$

Tasa de Modulación y Codificación (MCS Rates):

En este enlace se operó con el equipo epmp force200 y epmp1000 de la marca cambium Networks, los tipos de modulación, codificación y throughput serán los mismos planteados en la tabla N°15.

Ancho de Banda Disponible: Este enlace coberturó al centro de salud de Guaraguaos alto, teniendo en cuenta que requiero como mínimo 50Mbps por cada sector, entonces para este enlace se ubicó un ancho de banda propicio que satisfaga estos requerimientos de rendimiento, tomando en cuenta la tabla N°15 se concluyó operar con un ancho de banda de **20MHZ** a este PMP.

Rendimiento del sistema (Throughput):

Considerando la tabla N°15 las modulaciones adecuadas para cumplir con este requerimiento es la 64QAM y 16QAM (MCS13 y MCS12 respectivamente) quien ofrece un throughput entre 68Mbps y 90Mbps mínimos.

SIMULACIÓN DEL ENLACE

Perfil de Elevación:

En el Nodo Guaraguaos bajo la torre tiene una altura de 30m, y la antena con la que realizó el enlace PMP está a una altura de 29m, en el perfil del enlace se puede apreciar en la parte inferior el perfil del terreno, es quien está con color marrón, en el sector superior podemos identificar el perfil de obstáculos, es quien tiene color verde, este representa los árboles, construcciones, barreras, etc. que existen en la línea de enlace, a este perfil de obstáculos se le ha asignado una altura promedio de 10m, el equipo que se ha asignado en este nodo es el epmp1000 quien funciona con una potencia de 30dbm.

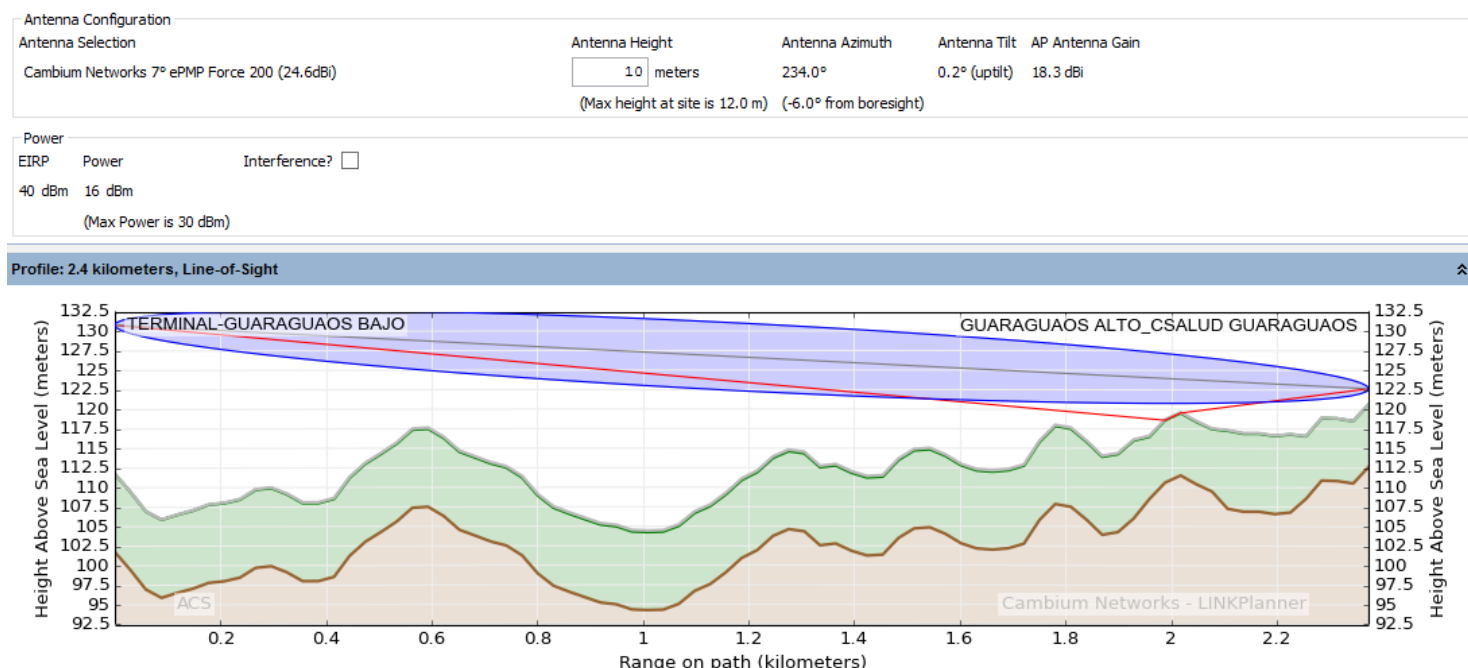


Figura N° 32. Perfil de elevación enlace Guaraguaos bajo to Centro de salud.

Fuente: Propia/Link Planer

En el centro de salud se planteó instalar una torre ventada de una altura de 11m y la antena a 10m, el equipo que opera en esta entidad es el force200 que trabaja con una potencia de transmisión de 16dbm y cuenta con una ganancia de 16dbi, ambos equipos están en la banda de 5,8 GHz, seguidamente se muestran las imágenes de la simulación.

Detalles del rendimiento:

En esta sección se muestra los distintos tipos de modulaciones con los que trabajan los equipos epmp1000/Force200, los niveles de throughput (rendimiento) que ofrece para ambos nodos con sus respectivas disponibilidades, para este proyecto se trabaja con una disponibilidad mínima de 99,9995%, los detalles se muestran a continuación.

Performance Details														
Common details														
MCS:	MCS15	MCS14	MCS13	MCS12	MCS11	MCS10	MCS9	MCS7	MCS6	MCS5	MCS4	MCS3	MCS2	MCS1
Mode:	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK	64QAM	64QAM	64QAM	16QAM	16QAM	QPSK	QPSK
Payloads:	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Dual	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single
Aggregate Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	113.7	102.5	91.3	68.0	45.7	34.0	22.3	56.8	51.5	45.7	34.0	22.3	17.5	11.7
Performance to Access Point														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	56.8	51.0	45.7	34.0	22.8	17.0	11.2	28.2	25.8	22.8	17.0	11.2	8.7	5.8
Fade Margin (dB):	17.3	21.3	24.3	30.3	33.3	38.3	40.3	17.3	21.3	24.3	30.3	33.3	38.3	42.3
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Performance to Subscriber Module														
Max Data Rate for 1 SM (Mbps):	56.8	51.5	45.7	34.0	22.8	17.0	11.2	28.7	25.8	22.8	17.0	11.2	8.7	5.8
Fade Margin (dB):	14.3	19.3	23.3	31.3	34.3	37.3	40.3	17.3	21.3	25.3	33.3	37.3	41.3	42.3
Mode Availability (%):	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	99.9995	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	100.0000
Receive Time in Mode (%):	99.9995	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

**Figura N° 33. Margen de desvanecimiento y disponibilidad de enlace
Guaraguaos bajo to Centro de salud.**

Fuente: Propia/Link Planer

Resumen de rendimiento:

En este enlace se ha optado en trabajar con la modulación 16QAM (MCS12), teniendo un margen de desvanecimiento de 31,30db, una velocidad de transmisión 68Mbps y contando con una disponibilidad de 99,9995%.

4.3 RESUMEN DE DISEÑO

Como se sabe, la red de radioenlaces diseñada está constituida por radioenlaces Punto a Punto como también Punto multi Punto, en esta sección se asignó una tabla por cada enlace a modo de identificar detalles de ambas estaciones que lo conforman, esto se aplicó tanto para enlaces PTPs y PMPs.

4.3.1 TABLAS DE RESUMEN DE RADIOENLACES PTPs

4.3.1.1 NODO TAMBOGRANDE TO NODO SANTA JULIA Y BEDIA

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B
Nombre de la Estación	Nodo Tambo grande	Nodo Santa julia y bedia
Tipo de Nodo	Distrital	Intermedio
Coordenadas	-4.93550° S -80.34093° W	-4.91124° S -80.43052° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5,4 GHZ	5,4GHZ
Frecuencia TX (MHz)	5.3953125 GHZ	5.332812 GHZ
Frecuencia RX (MHz)	5.332812 GHZ	5.3953125 GHZ
Ancho de Banda (MHz)	45 MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	34.5dBi	34.5dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 4ft Dual-Polar Parabolic RDH4505	Cambium Networks 4ft Dual-Polar Parabolic RDH4505
Potencia de Transmisión (dBm)	24dbm	24dbm
Nivel de recepción (dBm)	-38,4dbm	-38,4dbm
Modulación	16QAM	16QAM
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks-PTP650	Cambium Networks-PTP650
Throughput	119,06Mbps	119,06Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	29,20db	29,18db

Tabla N° 16. Resumen de enlace Tambogrande to Santa julia y bedia.

Fuente: Propia

4.3.1.2 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO SAN MIGUEL DE SEREN

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B
Nombre de la Estación	Nodo Santa julia y bedia	Nodo San Miguel de Seren
Tipo de Nodo	Intermedio	Terminal
Coordenadas	-4.91124° S -80.43052° W	-4.91306° S -80.47856° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5,4 GHZ	5,4GHZ
Frecuencia TX (MHz)	5.4109375 GHZ	5.348437 GHZ
Frecuencia RX (MHz)	5.348437 GHZ	5.4109375 GHZ
Ancho de Banda (MHz)	20 MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	28.2dBi	28.2dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 2ft Dual-Polar Parabolic RDH4503	Cambium Networks 2ft Dual-Polar Parabolic RDH4503
Potencia de Transmisión (dBm)	24dbm	24dbm
Nivel de recepción (dBm)	-45,29dbm	-45,29dbm
Modulación	16QAM	16QAM
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks-PTP650	Cambium Networks-PTP650
Throughput	38,29Mbps	38,29Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	29,37db	29,37db

Tabla N° 17. Resumen de enlace Santa julia y bedia to San miguel de seren.

Fuente: Propia

4.3.1.3 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO MAYTA CAPAC

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B
Nombre de la Estación	Nodo Santa julia y bedia	Nodo Mayta Capac
Tipo de Nodo	Intermedio	Terminal
Coordenadas	-4.91124° S -80.43052° W	-4.84331° S -80.38859° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5,4 GHZ	5,4GHZ
Frecuencia TX (MHz)	5.4265625 GHZ	5.364062 GHZ
Frecuencia RX (MHz)	5.364062 GHZ	5.4265625GHZ
Ancho de Banda (MHz)	20 MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	30.2dBi	30.2dBi

Marca y Modelo de la antena	Faini 0.8m Low Profile Dual-Polar Parabolic HP 08-0525 D	Faini 0.8m Low Profile Dual-Polar Parabolic HP 08-0525 D
Potencia de Transmisión (dBm)	24dbm	24dbm
Nivel de recepción (dBm)	-45,67dbm	-45,67dbm
Modulación	16QAM	16QAM
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks-PTP650	Cambium Networks-PTP650
Throughput	37,95Mbps	37,95Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	28,90db	28,90db

Tabla N° 18. Resumen de enlace Santa Julia y bedia to Mayta Capac.

Fuente: Propia

4.3.1.4 NODO TAMBOGRANDE TO GUARAGUAOS BAJO

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B
Nombre de la Estación	Nodo Tambo grande	Nodo Guaraguaos Bajo
Tipo de Nodo	Distrital	Terminal
Coordenadas	-4.93550° S -80.34093° W	-4.92106° S -80.22389° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5,4 GHZ	5,4GHZ
Frecuencia TX (MHz)	5.4109375 GHZ	5.348437GHZ
Frecuencia RX (MHz)	5.348437 GHZ	5.4109375 GHZ
Ancho de Banda (MHz)	30 MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	31.4dBi	31.4dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 3ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4509	Cambium Networks 3ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4509
Potencia de Transmisión (dBm)	24dbm	24dbm
Nivel de recepción (dBm)	-46,68dbm	-46,68dbm
Modulación	16QAM	16QAM
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks-PTP650	Cambium Networks-PTP650
Throughput	57,09Mbps	57,09Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	26,11db	26,11db

Tabla N° 19 Resumen de enlace Tambogrande to Guaraguaos Bajo.

Fuente: Propia

4.3.1.5 NODO TAMBOGRANDE TO EL PORVENIR

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ESTACIÓN B
Nombre de la Estación	Nodo Tambo grande	Nodo El Porvenir
Tipo de Nodo	Distrital	Terminal
Coordenadas	-4.93550° S -80.34093° W	-4.88578° S -80.30237° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5,4 GHZ	5,4GHZ
Frecuencia TX (MHz)	5.4421875 GHZ	5.379687GHZ
Frecuencia RX (MHz)	5.379687GHZ	5.4421875 GHZ
Ancho de Banda (MHz)	30 MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	28.9dBi	28.9dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508	Cambium Networks 2ft High Performance Dual-Polar Parabolic RDH4508
Potencia de Transmisión (dBm)	24dbm	24dbm
Nivel de recepción (dBm)	-46,21dbm	-46,21dbm
Modulación	16QAM	16QAM
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks-PTP650	Cambium Networks-PTP650
Throughput	57,63Mbps	57,63Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	26,67db	26,67db

Tabla N° 20. Resumen de enlace Tambogrande to El porvenir.

Fuente: Propia

4.3.2 TABLAS DE RESUMEN DE RADIOENLACES PMPs

4.3.2.1 NODO SANTA JULIA Y BEDIA TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15114

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ENTIDAD BENEFICIARIA
Nombre de la Estación	Nodo Santa julia y bedia	I.E N°15114
Nombre de su ubicación	Santa julia y bedia	Santa julia y bedia
Coordenadas	-4.91124° S -80.43052° W	-4.911770° S -80.430820° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5800MHZ	5800MHZ
Canal de operación	5835MHZ	5835MHZ
Ancho de Banda (MHz)	20MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	18.0dBi	16.0dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna	Cambium Networks 15° Epmf force180
Potencia de Transmisión (dBm)	30dbm	10dbm
Nivel de recepción (dBm)	-56dbm	-36dbm
Modulación	64QAM/MCS13	64QAM/MCS13
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks Epmf1000	Cambium Networks Epmf force180
Throughput	47,6Mbps	47,1Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	30,9db	29,9db

Tabla N° 21. Resumen de enlace nodo Santa julia y bedia to I.E°15114.

Fuente: Propia

4.3.2.2 NODO SAN MIGUEL DE SEREN TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15192

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ENTIDAD BENEFICIARIA
Nombre de la Estación	Nodo San Miguel de Seren	I.E N°15192
Nombre de su ubicación	San Miguel de Seren	San Miguel de Seren

Coordenadas	-4.91306° S -80.47856° W	-4.92403° S -80.47414° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5800MHZ	5800MHZ
Canal de operación	5785MHZ	5785MHZ
Ancho de Banda (MHz)	20MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	18.0dBi	25.0dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna	Cambium Networks 7° Epmp force200
Potencia de Transmisión (dBm)	30dbm	11dbm
Nivel de recepción (dBm)	-57dbm	-38dbm
Modulación	64QAM/MCS13	64QAM/MCS13
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks Epmp1000	Cambium Networks Epmp force200
Throughput	47,6Mbps	47,1Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	29,4db	28,4db

Tabla N° 22. Resumen de enlace nodo San Miguel de Seren to I.E°15192.

Fuente: Propia

4.3.2.3 NODO MAYTA CAPAC TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15335

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ENTIDAD BENEFICIARIA
Nombre de la Estación	Nodo Mayta capac	I.E N°15335
Nombre de su ubicación	Mayta capac	Mayta capac
Coordenadas	-4.84331° S -80.38859° W	- 4.84544° S -80.39220° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5800MHZ	5800MHZ
Canal de operación	5810MHZ	5810MHZ
Ancho de Banda (MHz)	20MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	18.0dBi	16.0dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna	Cambium Networks 15° Epmp force180
Potencia de Transmisión (dBm)	30dbm	13dbm
Nivel de recepción (dBm)	-56dbm	-39dbm
Modulación	64QAM/MCS13	64QAM/MCS13
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks Epmp1000	Cambium Networks Epmp force180

Throughput	47,6Mbps	47,1Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	27,7db	26,7db

Tabla N° 23. Resumen de enlace nodo Mayta Capac to I.E°15335.

Fuente: Propia

4.3.2.4 NODO GUARAGUAOS BAJO TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°15304

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ENTIDAD BENEFICIARIA
Nombre de la Estación	Nodo Guaraguaos Bajo	I.E N°15304
Nombre de su ubicación	Guaraguaos Bajo	Guaraguaos Bajo
Coordenadas	-4.92106° S -80.22389° W	-4.91756°S -80.22003° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5800MHZ	5800MHZ
Canal de operación	5760MHZ	5760MHZ
Ancho de Banda (MHz)	20MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	18.0dBi	16.0dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna	Cambium Networks 15° Epmp force180
Potencia de Transmisión (dBm)	30dbm	15dbm
Nivel de recepción (dBm)	-56dbm	-41dbm
Modulación	16QAM/MCS12	16QAM/MCS12
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks Epmp1000	Cambium Networks Epmp force180
Throughput	34Mbps	34Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	31,8db	32,8db

Tabla N° 24. Resumen de enlace nodo Guaraguaos Bajo to I.E°15304.

Fuente: Propia

4.3.2.5 NODO GUARAGUAOS BAJO TO CENTRO DE SALUD GUARAGUAOS ALTO

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ENTIDAD BENEFICIARIA
Nombre de la Estación	Nodo Guaraguaos Bajo	CC.SS Guaraguaos Alto
Nombre de su ubicación	Guaraguaos Bajo	Guaraguaos Alto
Coordenadas	-4.92106° S -80.22389° W	-4.90843°S -80.20658° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5800MHZ	5800MHZ
Canal de operación	5760MHZ	5760MHZ
Ancho de Banda (MHz)	20MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	18.0dBi	25.0dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna	Cambium Networks 7° Epmp force200
Potencia de Transmisión (dBm)	30dbm	16dbm
Nivel de recepción (dBm)	-57dbm	-43dbm
Modulación	16QAM/MCS12	16QAM/MCS12
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks Epmp1000	Cambium Networks Epmp force200
Throughput	34Mbps	34Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	30,3db	31,3db

Tabla N° 25. Resumen de enlace nodo Guaraguaos Bajo to CC.SS Guaraguaos Alto.

Fuente: Propia

4.3.2.6 NODO EL PORVENIR TO CENTRO DE SALUD EL PORVENIR

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ENTIDAD BENEFICIARIA
Nombre de la Estación	Nodo El Porvenir	Centro de Salud
Nombre de su ubicación	El Porvenir	El Porvenir
Coordenadas	-4.88578° S -80.30237° W	-4.886360°S -80.300580° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5800MHZ	5800MHZ
Canal de operación	5735MHZ	5735MHZ
Ancho de Banda (MHz)	20MHZ	

Ganancia de la Antena (dBi)	18.0dBi	16.0dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna	Cambium Networks 15° Epmp force180
Potencia de Transmisión (dBm)	30dbm	12dbm
Nivel de recepción (dBm)	-56dbm	-38dbm
Modulación	64QAM/MCS13	64QAM/MCS13
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks Epmp1000	Cambium Networks Epmp force180
Throughput	45,7Mbps	45,7Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	31db	28db

Tabla N° 26. Resumen de enlace nodo El Porvenir to CC.SS El Porvenir.

Fuente: Propia

4.3.2.7 NODO EL PORVENIR TO INSTITUCIÓN EDUCATIVA N°14014 DE NUEVA ESPERANZA

RESUMEN GENERAL DEL ENLACE PTP		
INFORMACIÓN DEL NODO	ESTACIÓN A	ENTIDAD BENEFICIARIA
Nombre de la Estación	Nodo El Porvenir	I.E N°14014
Nombre de su ubicación	El Porvenir	Nueva Esperanza
Coordenadas	-4.88578° S -80.30237° W	-4.863860°S -80.290650° W
CONFIGURACIÓN GENERAL		
Banda de operación	5800MHZ	5800MHZ
Canal de operación	5735MHZ	5735MHZ
Ancho de Banda (MHz)	20MHZ	
Ganancia de la Antena (dBi)	18.0dBi	25.0dBi
Marca y Modelo de la antena	Cambium Networks 90° 4.9 - 6 GHz, 90/120 deg Sector Antenna	Cambium Networks 7° Epmp force200
Potencia de Transmisión (dBm)	30dbm	21dbm
Nivel de recepción (dBm)	-56dbm	-47dbm
Modulación	16QAM/MCS12	16QAM/MCS12
Marca y Modelo de la radio	Cambium Networks Epmp1000	Cambium Networks Epmp force200
Throughput	34Mbps	34Mbps
Disponibilidad%	99,9995%	99,9995%
Fade Margin(db)	28db	26db

Tabla N° 27. Resumen de enlace nodo El Porvenir to I.E N°14014.

Fuente: Propia

4.4 DETALLES DE LA TECNOLOGÍA APLICADA

A continuación se detalló las características de los equipos y antenas propuestos en el desarrollo de la red tanto para radioenlaces punto a punto como también punto multi punto.

4.4.1 TECNOLOGIA DE RED PTP

4.4.1.1 EQUIPOS DE RADIO

Los equipos con los que se operó son de la marca Cambium Networks y en los enlaces punto a punto trabajan con el PTP650, los equipos PTP de la marca cambium networks vienen en dos modalidades, el PTP integrado quien incorpora una antena de 23dbi y el PTP conectorizado quien solo viene el equipo adaptado para conectarse a otras antenas con ganancias inferiores o superiores a la de la antena del PTP650 integrado.



Figura N° 34. PTP650 integrado.

Fuente:http://www.microcom.com.ar/fotos/ficha7083PTP650SS_SPANISH%20EU.pdf (serie ptp 650, 2013)

4.4.1.1.1 PTP650

En el diseño de la red de radioenlaces se trabajó con el equipo PTP650 conectorizado en vista a las diferentes longitudes de los enlaces punto a punto permitiendo este equipo poder buscar y acoplar una antena con la ganancia adecuada para cada enlace.



Figura N° 35. PTP650 conectorizado.

Fuente: http://www.microcom.com.ar/fotos/ficha7083PTP650SS_SPANISH%20EU.pdf (serie ptp 650, 2013)

- Banda de operación: La banda ancha funciona de 4.9 a 6.05 GHz
- Tamaños de canal: 5, 10, 15, 20, 30, 40, y de 45 MHz
- Potencia de transmisión: 23 dBm hasta 27dbm
- Corrección de errores / Mod: Modulación adaptable preventiva y rápida con 13 niveles de modulación / codificación que van desde BPSK a 256 QAM “dual payload” MIMO
- Rango: 20km
- Transferencia de datos:
 - Capacidad mínima: Hasta 125 Mbps
 - Capacidad media: Hasta 250 Mbps
 - Capacidad plena: Hasta 450 Mbps

Flexible I/O:

- Puerto gigabit 1: Toma de corriente PoE + datos
- Puerto gigabit 2: Puerto de salida 802.3af PoE
- Puerto SFP (fibra mono-modo, fibra multi-modo, y opciones Gigabit Ethernet de cobre disponibles)

PTP 650 Software Modulation Mode	RX Threshold dBm	TX Power dBm	Aggregate Throughput Mbps
256 QAM .81 Dual	-59.1	+18	300.2
256 QAM .81 Single	-64.0	+18	150.1
64 QAM .92 Dual	-62.0	+18	252.9
64 QAM .75 Dual	-68.1	+18	206.7
64 QAM .92 Single	-65.9	+18	126.4
64 QAM .75 Single	-71.7	+18	103.3
16 QAM .87 Dual	-71.0	+20	160.8
16 QAM .63 Dual	-75.2	+22	115.6
16 QAM .87 Single	-74.8	+20	80.4
16 QAM .63 Single	-79.3	+22	57.8
QPSK .87 Single	-81.6	+23	40.2
QPSK .63 Single	-84.6	+24	28.9
BPSK .63 Single	-88.1	+25	14.4

**Tabla 14. Modulation Mode/Coding schemes PTP650-
Cambium Networks.**

Fuente: PTP & PTP SERIES SOLUTIONS (Eduardo Pintos, 2015)

4.4.1.2 ANTENAS

Las antenas especificadas a continuación son quienes se conectaron con el PTP650 para la realización de los enlaces punto a punto.

4.4.1.2.1 CAMBIUM NETWORKS 4FT DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4505

Características Generales:

Medida: 1.2 m (4 ft).

Polarización: Doble.

Conectores: N-Hembra (x2).

Frecuencia: 5.25 – 5.85 GHz.

Ganancia: 34.5 dBi.

Especificaciones Mecánicas

Ajuste fino de azimut: $\pm 10^\circ$.

Ajuste fino de elevación: $\pm 25^\circ$.

Diámetro mínimo del tubo de montaje: 11.4 cm (4.5 in).

Diámetro máximo del tubo de montaje: 11.4 cm (4.5 in).

Peso neto: 27 kg (60 lbs)

Velocidad de resistencia al viento operacional: 145 km/h (90 mph).

Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.



Figura N° 36. 4ft dual-polar parabolics RDH4505.

Fuente: PTP & PTP SERIES SOLUTIONS (Eduardo Pintos, 2015)

4.4.1.2.2 CAMBIUM NETWORKS 2FT DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4503

Características Generales:

Medida: 0.6 m (2 ft).

Polarización: Doble.

Conectores: N-Hembra (x2).

Frecuencia: 5.25 – 5.85 GHz.

Ganancia: 28.2 dBi.

Especificaciones Mecánicas

Ajuste fino de azimut: $\pm 10^\circ$.

Ajuste fino de elevación: $\pm 30^\circ$.

Peso neto: 9.9 kg (22 lbs)

Velocidad de resistencia al viento operacional: 145 km/h (90 mph).

Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.

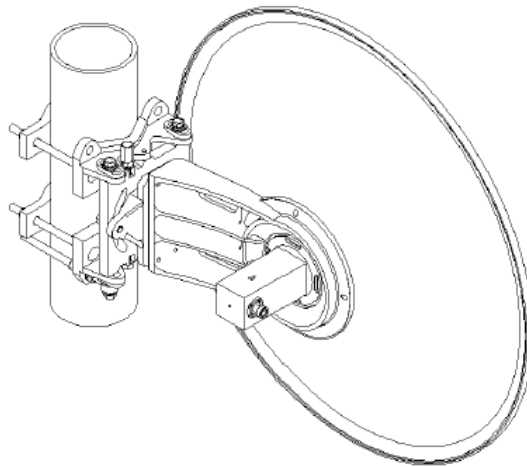


Figura N° 37. 2ft dual-polar parabolics RDH4503.

Fuente: <https://www.radiowaves.com/en/product/sp2-2-5>(radiowave, 2018)

4.4.1.2.3 FAINI 0.8M LOW PROFILE DUAL-POLAR PARABOLIC HP 8-0525 D

Características Generales:

Medida: 0.8 m.

Polarización: Doble.

Conectores: N-Hembra (x2).

Frecuencia: 5.25 – 5.85 GHz.

Ganancia: 30.2 dBi.

Especificaciones Mecánicas

Ajuste fino de azimut: $\pm 10^\circ$.

Ajuste fino de elevación: $\pm 20^\circ$.

Peso neto: 17.5 kg

Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.



Figura N° 38. 0.8m dual-polar parabolics THP 8-0525D.

Fuente: http://www.advantec.it/wp-content/uploads/Antenna_HP_08_0525_D.pdf (Faini telecomunications, 2018)

4.4.1.2.4 CAMBIUM NETWORKS 3FT HIGH PERFORMANCE DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4509

Características Generales:

Medida: 0.9 m (3 ft).

Polarización: Doble.

Conectores: N-Hembra (x2).

Frecuencia: 5.25 – 5.85 GHz.

Ganancia: 31.4 dBi.

Especificaciones Mecánicas

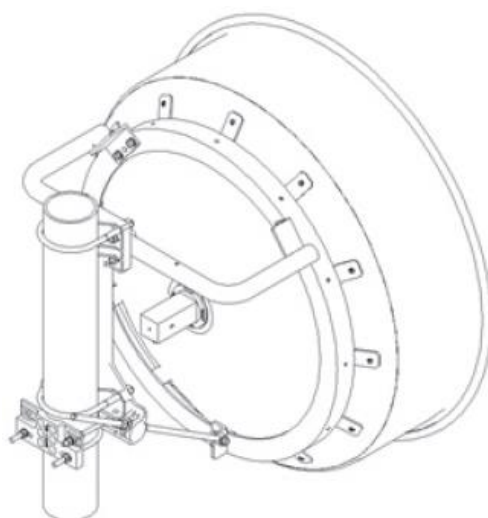
Ajuste fino de azimut: $\pm 10^\circ$.

Ajuste fino de elevación: $\pm 25^\circ$.

Peso neto: 22.68 kg (50 lbs)

Velocidad de resistencia al viento operacional: 145 km/h (90 mph).

Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.



RDH4509B 5.25-5.85 GHz, 3-FT (0.9M),
HIGH PERFORMANCE DUAL-POL

Figura N° 39. 3ft dual-polar parabolics RDH4509.

Fuente: <https://3fdumf3rqw5xx4mjgywguwz9-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/Spec20Sheet20-20HPDualPolePRA.pdf> (Cambium network, 2017)

4.4.1.2.5 CAMBIUM NETWORKS 2FT HIGH PERFORMANCE DUAL-POLAR PARABOLIC RDH4508

Especificaciones Generales

Medida: 0.6 m (2 ft).

Polarización: Doble.

Conectores: N-Hembra (x2).

Frecuencia: 5.25 – 5.85 GHz.

Ganancia: 28.9 dBi.

Especificaciones Mecánicas

Ajuste fino de azimut: $\pm 10^\circ$.

Ajuste fino de elevación: $\pm 30^\circ$.

Peso neto: 12.3 kg (27 lbs)

Velocidad de resistencia al viento operacional: 145 km/h (90 mph).

Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.

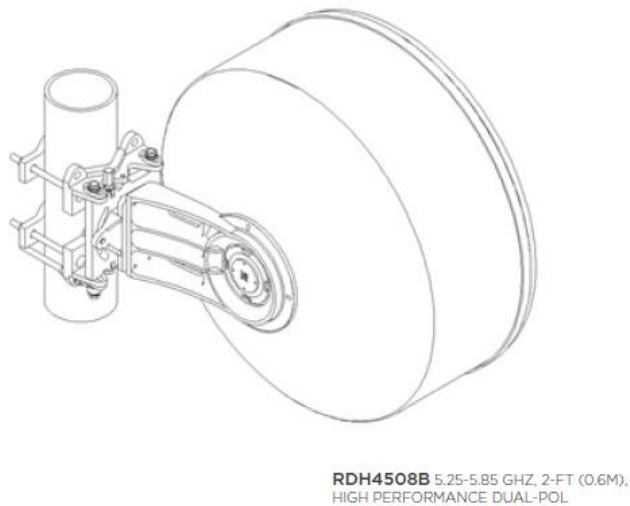


Figura N° 40. 3ft dual-polar parabolics RDH4508.

Fuente: <https://3fdumf3rqw5xx4mjgywguwz9-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/Spec20Sheet20-20HPDualPolePRA.pdf> (Cambium network, 2017)

4.4.2 TECNOLOGÍA DE RED PMP

4.4.2.1 EQUIPOS DE RADIO

En esta sección se especifica los equipos sectoriales usados en los enlaces punto multi punto, estos equipos planteados son conectorizados, lo que quiere decir que no incorporan una antena, a continuación detallamos la serie y características de los mismos.

4.4.2.1.1 EPMP1000

La PMP1000 conectorizada tiene flexibilidad para conectarse a una variedad de antenas externas como panel de 90 y 120 grados de alta ganancia.

- Banda de operación: -5 GHz [5.150-5.850]
- Tamaños de canal: 5, 20 y 40 MHz
- Máxima Potencia de transmisión: 15dbm
- Corrección de errores / Mod: Modulación adaptable preventiva y rápida con 15 niveles de modulación / codificación que van desde (MCS0) BPSK a (MCS15) 64QAM “dual payload” MIMO

-Transferencia de datos: -Capacidad plena: Hasta 150 Mbps

-Peso neto: 0.49 kg (1.1 lbs)

-Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.



Figura N° 41. ePmP 1000conectorizado - Cambium Networks.

Fuente: <https://www.balticnetworks.com/docs/CN-EPMP1000-Connectorized-Radio-SS-040414.pdf> (Cambium network, 2014)

4.4.2.1.2 EPMP FORCE180

-Banda de operación: -5 GHz [4910-5970]

-Tamaños de canal: 5, 10, 20 y 40 MHz

-Máxima Potencia de transmisión: 30dbm

-Corrección de errores / Mod: Modulación adaptable preventiva y rápida con 15 niveles de modulación / codificación que van desde (MCS0) BPSK a (MCS15) 64QAM “dual payload” MIMO

Throughput for ePMP 50/50 Ratio)

MCS	Spatial Streams	Mod. Type	Coding Rate	5 MHz		10 MHz		20 MHz		40 MHz	
				DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
MCS 15	2	64-QAM	5/6	10.5	11.4	25.9	26.9	56.5	58.4	115	114
MCS 14	2	64-QAM	3/4	9.35	10.3	23.4	24.2	50.6	51.8	104	105
MCS 13	2	64-QAM	2/3	8.19	9.17	21.1	21.5	44.6	46.7	94.2	95.7
MCS 12	2	16-QAM	3/4	6.23	6.9	15.6	16	33.6	34.8	70.4	72.3
MCS 11	2	16-QAM	1/2	4.09	4.56	10.5	10.6	22.4	23.1	46.9	47.8
MCS 10	2	QPSK	3/4	3.12	3.38	7.84	8.01	16.4	17.1	35.2	35.9
MCS 9	2	QPSK	1/2	1.95	2.24	5.08	5.27	11.1	11.3	23.4	23.5
MCS 7	1	64-QAM	5/6	5.26	5.85	12.9	13.7	28.2	28.7	58.9	60.8
MCS 6	1	64-QAM	3/4	4.68	5.33	11.7	12.2	25.8	25.9	54.1	53.7
MCS 5	1	64-QAM	2/3	4.21	4.69	10.5	10.7	22.3	23.1	47.1	48
MCS 4	1	16-QAM	3/4	3.12	3.45	7.82	8.01	16.8	17.1	35.2	36
MCS 3	1	16-QAM	1/2	2	2.26	5.16	5.3	11.1	11.3	23.4	23.8
MCS 2	1	QPSK	3/4	1.55	1.66	3.75	3.91	8.22	8.47	17.6	17.9
MCS 1	1	QPSK	1/2	0.938	1.07	2.35	2.35	5.49	5.63	11.8	11.8

Tabla N° 15. Modulation Mode/Coding schemes Force180 and force200 Cambium Networks.

-Rango: 2km

-Transferencia de datos: -Capacidad plena: Hasta 200 Mbps

-Peso neto: 0.5 kg (1.1 lbs)

-Ganancia: 16 dBi.



Figura N° 42. ePmP Force180-Cambium Networks.

Fuente: <https://www.uwave.com.my/wp-content/uploads/2017/10/ePMPForce180.pdf> (cambium network, 2015)

4.4.2.1.3 EPMP FORCE200

- Banda de operación: -5 GHz [4910-5970]
- Tamaños de canal: 5, 10, 20 y 40 MHz
- Máxima Potencia de transmisión: 30dbm
- Corrección de errores / Mod: Modulación adaptable preventiva y rápida con 15 niveles de modulación / codificación que van desde (MCS0) BPSK a (MCS15) 64QAM “dual payload” MIMO

Throughput for ePMP 50/50 Ratio)											
MCS	Spatial Streams	Mod. Type	Coding Rate	5 MHz		10 MHz		20 MHz		40 MHz	
				DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
MCS 15	2	64-QAM	5/6	10.5	11.4	25.9	26.9	56.5	58.4	115	114
MCS 14	2	64-QAM	3/4	9.35	10.3	23.4	24.2	50.6	51.8	104	105
MCS 13	2	64-QAM	2/3	8.19	9.17	21.1	21.5	44.6	46.7	94.2	95.7
MCS 12	2	16-QAM	3/4	6.23	6.9	15.6	16	33.6	34.8	70.4	72.3
MCS 11	2	16-QAM	1/2	4.09	4.56	10.5	10.6	22.4	23.1	46.9	47.8
MCS 10	2	QPSK	3/4	3.12	3.38	7.84	8.01	16.4	17.1	35.2	35.9
MCS 9	2	QPSK	1/2	1.95	2.24	5.08	5.27	11.1	11.3	23.4	23.5
MCS 7	1	64-QAM	5/6	5.26	5.85	12.9	13.7	28.2	28.7	58.9	60.8
MCS 6	1	64-QAM	3/4	4.68	5.33	11.7	12.2	25.8	25.9	54.1	53.7
MCS 5	1	64-QAM	2/3	4.21	4.69	10.5	10.7	22.3	23.1	47.1	48
MCS 4	1	16-QAM	3/4	3.12	3.45	7.82	8.01	16.8	17.1	35.2	36
MCS 3	1	16-QAM	1/2	2	2.26	5.16	5.3	11.1	11.3	23.4	23.8
MCS 2	1	QPSK	3/4	1.55	1.66	3.75	3.91	8.22	8.47	17.6	17.9
MCS 1	1	QPSK	1/2	0.938	1.07	2.35	2.35	5.49	5.63	11.8	11.8

Tabla15 . Modulation Mode/Coding schemes Force180 and force200 Cambium Networks.

- Rango: 4km
- Transferencia de datos: -Capacidad plena: Hasta 200 Mbps
- Peso neto: 2.3 kg (5.1 lbs)**
- Ganancia: 25 dBi.**



Figura N° 43. ePmP Force200-Cambium Networks.

Fuente: <http://site.microcom.us/c024900c161a.pdf>(Cambium network, 2015)

4.4.2.2 ANTENA

4.4.2.2.1 EPMP SECTOR ANTENA

Características Generales:

Especificaciones Eléctricas

Polarización: Doble.

Frecuencia: 4.9 – 6 GHz.

Ganancia: 18 dBi.

Especificaciones Mecánicas

Ancho de haz (grados): 90° y 120°

Peso neto: 4 kg (8.8 lbs)

Rango de temperatura de operación: -40 a 60 °C.



Figura N° 44. Epmp sector antenna-cambium networks.

Fuente: https://www.azotel.com/00_Az_Docs/radio_equipment/201703_ePM-P-5GhzAnt.pdf (Cambium network, 2016)

4.4.3 TECNOLOGIA CAMBIUM NETWORKS

Cambium networks, marca de equipos de comunicación quien brinda soluciones en banda ancha, a su vez cuenta con una herramienta global “Link planer”. Link planer ha sido el software de planificación de enlaces de microondas más destacado en los últimos 10 años y es utilizado por miles de operadores para diseñar y calcular enlaces microondas punto a punto (PTP) como también punto multi punto (PMP).

4.4.3.1 EQUIPOS

-Los equipos de cambium networks vienen en 2 presentaciones (conectorizado o integrado). Los equipos conectorizados vienen de fábrica con una presentación adaptable a equipos de multiples marcas, sin embargo los integrados son quienes incorporan el equipo y la antena a su vez.

- Los equipos pueden administrar el ancho de banda en Downlink (DL) y Uplink (UL) de forma asíncrona, de tal forma que si requiere mejorar el ancho de banda en una dirección.

50 / 50 : 70 Mbps DL / 70 Mbps UL (Este modo es el que tienen los equipos Ubiquiti y no se puede modificar)

25 / 75 : 35 Mbps DL / 105 Mbps UL

70 / 30: 98 Mbps DL / 42 Mbps UL

***Flexible*:** El sistema es lo suficientemente inteligente como para variar el ancho de banda según como sea requerido por la red, es decir, si en ciertos momento del día necesito más DL que UL, el sistema lo ajusta automáticamente; si en un par de horas se invierte el requerimiento de la red y necesito más UL que DL, el sistema lo ajusta nuevamente. Esta característica sólo opera cuando hay un radio base con GPS (ePMP5GPS).

- Los ePMP cuentan con calidad de servicio (QoS) configurable por el usuario, no es un algoritmo "automático" como en los equipos Ubiquiti.

4.4.3.2 SOFTWARE

Dispone de Link Planer quien es un software gratuito que cuenta con las siguientes características:

- Diseño de un enlace fiable incluso en situaciones comprometidas
- Permite ingresar altura de obstáculos en el perfil del enlace
- Planificación y optimización de forma simultanea enlaces únicos o multiples.
- Visualización de una completa imagen de toda su red de enlaces PMP y PTP mediante Google Earth.
- Creación de lista de materiales para redes PTP y PMP incluyendo accesorios.
- Generación de informes que se validen las presentaciones proyectadas.

4.4.3.3 RENDIMIENTO

A continuación presentaremos unas pruebas comparativas realizadas por la comunidad de cambium networks con los equipos UBNT Rocket AC y el Epmp2000, las pruebas se realizaron en un canal limpio, con un número diferente de módulos de abonado y con modulación QAM-64 fija.

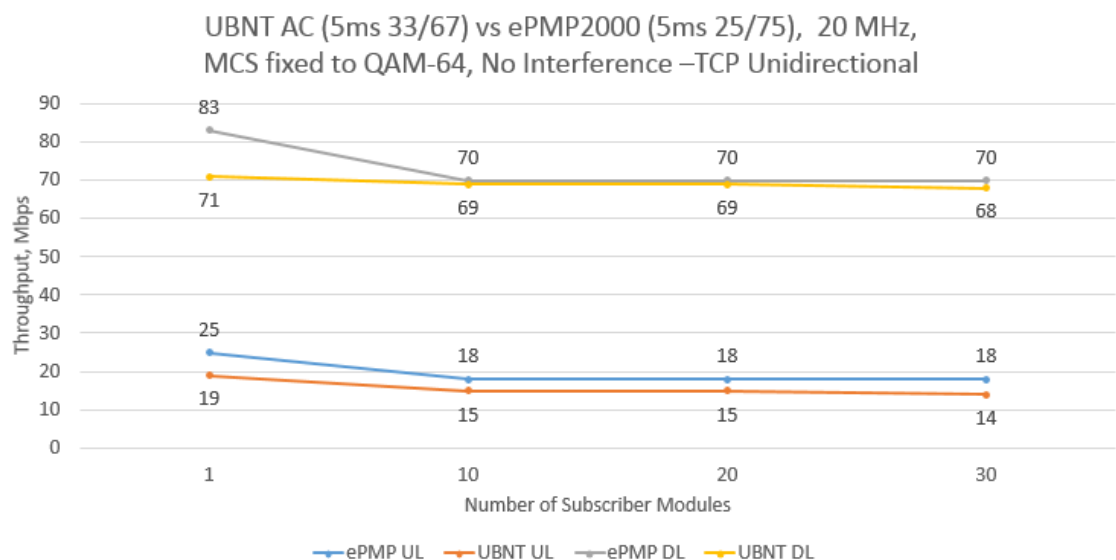


Figura N° 45. PMP sector performance.

Fuente: <http://community.cambiumnetworks.com/t5/ePMP-3000-2000-and-1000/ePMP-vs-the-quot-new-quot-Ubiquiti/m-p/82130#M12605> (Comunidad cambium network, 2017)

4.4.3.4 PORQUE USAR EQUIPOS CAMBIUM NETWORK Y DETALLES DEL PROYECTO

Cambium networks es una marca que presenta equipos integrados y conectorizados como es el caso de los equipos para enlaces PTPs y PMPs, a diferencia de otras marcas más accesibles cambium es una de las pocas que cuenta con equipos en esta presentación (equipos de la marca alvarion también vienen en presentación integrada).

Cambium network cuenta con la tecnología 2x2 mimo (2tx y 2rx) esta tecnología lo que hace es trabajar con polarización dual (horizontal y vertical), cambium ha aplicado esta tecnología a las antenas integrados también.

La tecnología 2x2 mimo se refiere específicamente a la forma como son manejadas las ondas de transmisión y recepción en antenas para dispositivos inalámbricos como enrutadores. En el formato de transmisión inalámbrica tradicional la señal se ve afectada por reflexiones, lo que ocasiona degradación o corrupción de la misma y por lo tanto pérdida de datos. MIMO aprovecha fenómenos físicos como la propagación multicamino para incrementar la tasa de transmisión y reducir la tasa de error. En breves palabras MIMO aumenta la eficiencia espectral de un sistema de comunicación inalámbrica por medio de la utilización del dominio espacial.

El rango de frecuencias con las que se trabaja en este proyecto a nivel PTP son [5325Mhz-5450Mhz] y a nivel PMP [5735-5835]. Se ha considerado operar con estas bandas porque son no licenciadas, las bandas no licenciadas son una plataforma amplia, barata y rápida para construir soluciones en telecomunicaciones. El ministerio de transportes y comunicaciones en Perú el año 2013 publico el TUO (texto único ordenado) del reglamento de ley de las telecomunicaciones donde establece que las bandas libres en el espectro radioeléctrico son aquellas que operen en los 900Mhz, 2400Mhz y 5800Mhz a su vez transmitan a una potencia no superior a los 4w(36dbm) en la antena.

	900 MHz	2.4 GHz	5 GHz
Popularidad	No usadas ampliamente en redes WISP	Ampliamente Usadas	Volviéndose ampliamente usadas
Velocidad	Bajo Throughput	Alto Throughput	Alto Throughput
Costo	No caro	No caro	No caro
Frecuencia	Abarrotado, Buen Uso Nlos	Abarrotado	No abarrotado
Alcance	Alcance débil	Alcance promedio	Alcance promedio
Aplicación	Mesh, ptmp cortos con muchos obstáculos	Mesh, ptp, ptmp	Backhaul, ptp, ptmp

TABLA N° 28. Tabla comparativa entre las 3 bandas libres.

Fuente: [https://comunicacionesupc.wordpress.com/2011/01/15/bandas-de-frecuencias-no-licenciadas/\(comunicaciones upc, 2018\)](https://comunicacionesupc.wordpress.com/2011/01/15/bandas-de-frecuencias-no-licenciadas/(comunicaciones upc, 2018))

El ancho de banda asignado a cada enlace es directamente proporcional al throughput que se está transmitiendo, es el caso del enlace de la estación TAMBO GRANDE a la estación SANTA JULIA Y BEDIA el throughput mínimo es de 150Mbps trabajando con el PTP650 consideramos el mejor ancho de banda que nos puede ofrecer el equipo que es 45Mhz, en vista a que está transportando la mayor cantidad de datos en este enlace.

Seguidamente SANTA JULIA Y BEDIA tiene 2 enlaces, uno hacia la estación SAN MIGUEL DE SEREN y otro hacia la estación MAYTA CAPAC, cada uno de estos enlaces transportará mínimo 50Mbps cada uno, siendo asignado un ancho de banda de 20MHZ para cada enlace, estas 2 estaciones son terminales brindando cobertura solo a la localidad donde se sitúan.

La estación tambogrande tiene 2 enlaces adicionales uno hacia la estación EL PORVENIR y otro hacia la estación GUARAGUAOS BAJO, estas dos últimas estaciones aparte de brindar servicio a las localidades donde se sitúan cubren a 2 localidades cercanas a estas respectivamente por lo tanto aquí se requiere un ancho de banda moderado de 30MHZ.

Se precisa que la disponibilidad de los enlaces sea de 99,9995% por criterios de diseño.

4.5 PRESUPUESTO

En este capítulo especificamos el monto que demanda la compra de los equipos así mismo de la infraestructura.

PRESUPUESTO				
Descripción	Cantidad	Marca	Precio unitario	Monto total(S/.)
Torre autosoportada de 48m	1	-----	75000	75000
Torre autosoportada de 36m	3	-----	65000	195000
Torre autosoportada de 24m	1	-----	55000	55000
Torre autosoportada de 30m	1	-----	60000	60000
PTP650-Conectorized	10	Cambium Networks	3600	36000
ePMP 100-Conectorized	5	Cambium Networks	2150	10750
ePMP Force180	4	Cambium Networks	1400	5600
ePMP Force200	3	Cambium Networks	1900	5700
Torre ventada de 11m	7	-----	5500	38500
4ft dual-polar parabolic rdh4505	2	Cambium Networks	5935	11870
2ft dual-polar parabolic rdh4503	2	Cambium Networks	2795	5590
0.8 m dual-polar parabolic hp 08-0525 d	2	Faini telecommunication	4500	9000
3ft dual-polar parabolic rdh4509	2	Cambium Networks	5792	11584
2ft dual-polar parabolic rdh4508	2	Cambium Networks	3219	6438
ePMP sector antenna-18dbi	7	Cambium Networks	960	6720
Cable SFTP CAT 7A (1000m-1 caja)	1	KROTON	1262	1262
switch's Cisco-12 puertos	5	CISCO	1250	6250
Power Supply Module	7	Cambium Networks	50	350
Power injector PTP 650	5	Cambium Networks	1193	5965
Conectores de red RJ45	50	AMP	1.2	60
			TOTAL	S/. 546 639

TABLA N° 29. Presupuesto para adquisición del sistema de radioenlaces

Fuente: Propia

CONCLUSIONES

- ✓ En este proyecto se realizó el estudio de los pueblos pertenecientes al distrito de Tambogrande, realizado esto se procedió a oficializar la lista de instituciones beneficiarias para cada pueblo, seguidamente se definieron las coordenadas tanto para los nodos principales como para los beneficiarios, las toma de estos últimos datos se realizaron bajo el respaldo del software Google Earth.
- ✓ Se realizó el diseño de la red de radioenlaces constituida por un nodo matriz o principal, un nodo intermedio y cuatro nodos terminales, en este sistema se cuenta con 5 radioenlaces punto a punto y 7 radioenlaces punto multi punto; las torres autosoportadas en los nodos se encuentran entre los 24 a 48 metros de altura y se propuso que en los beneficiarios se instalen torres ventadas de 10 metros de altura.
- ✓ Se propuso que los Radioenlaces PTP operen en la banda de los 5,4GHz mientras que los radioenlaces PMP en la banda de los 5,8GHz; los enlaces PTP cuentan con distancias de 5 a 13km por lo tanto operar con la frecuencia de 5,4GHz proporciona una longitud de onda mayor a comparación con la frecuencia de 5,8GHz logrando así mayor eficiencia en la comunicación, los enlaces PMP tienen distancias de 0,067 a 2,751 Km.
- ✓ En el rendimiento del sistema se dispone de un throughput mínimo de 50Mbps por cada pueblo beneficiario y una disponibilidad de 99,9995%.

RECOMENDACIONES

- ✓ Como requerimiento mínimo para el diseño de una red de radioenlaces es tener en claro el tipo de servicio y cuánto es la tasa de datos que deseas transmitir, hecho esto ya puedes definir el tipo de tecnología con la que se va a trabajar seguidamente el tipo de modulación, sensibilidad y codificación que el equipo te ofrece.
- ✓ Definir estratégicamente la ubicación de las estaciones con la finalidad de evitar obstáculos y tener buena línea de vista para una comunicación eficiente.
- ✓ En esta tecnología los equipos cuentan con la característica de tener una modulación adaptativa lo que quiere decir es que inicialmente nosotros podemos definir el tipo de modulación en el cual se va a operar pero si suceden casos extremos, sean fenómenos naturales de alta intensidad o sucesos que puedan comprometer la red el equipo automáticamente buscará otra modulación idónea que le permita no dejar caer el enlace, por el contrario darle continuidad al servicio.
- ✓ Este proyecto queda a disposición para alguna empresa de telecomunicación que quiera implementar en un futuro.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ricardo Diaz Vargas (Diciembre del 2015). “Diseño de radioenlace microondas isla san lorenzo – campus pucp para el proyecto peru magneto”. PUCP . Obtenido de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/7038>
- H. Medina Guzman (Agosto del 2009). “*FISICA II*”- Lima PUCP,.Obtenido de: <https://academia2011.files.wordpress.com/2011/12/fc3adsica-hugo-medina-guzmc3a1n.pdf>
- H. Sizun,. (2005). *Radio Wave Propagation: Telecommunication Applications* . Obtenido de:https://books.google.com.pe/books?id=Ce8e0j5vnAUC&pg=PA148&lpg=PA148&dq=%5B3%5D+H.+Sizun,+Radio+Wave+Propagation:+Telecommunication+Applications,+2005&source=bl&ots=AXYoZwPaa&sig=_AMK9KHdgC1bYevbZ6ySY9OP3xk&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiwtoGwwM3fAhUHRVkkHRaMBhsQ6AEwCHoECAMQAQ#v=onepage&q=%5B3%5D%20H.%20Sizun%2C%20Radio%20Wave%20Propagation%3A%20Telecommunication%20Applications%2C%202005&f=false
- J. A. Richards (2008). “Radio Wave Propagation: An Introduction for the NonSpecialist”. Springer. Obtenido de: <https://books.google.com.pe/books?id=WaLIUSljsEAC&pg=PA20&dq=%5B4%5D%09J.+A.+Richards,+Radio+Wave+Propagation:+An+Introduction+for+the+NonSpecialist,+Springer,+2008.&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj0vD8ws3fAhXS1lkKHTdzDEEQ6wEINDAB#v=onepage&q=%5B4%5D%09J.%20A.%20Richards%2C%20Radio%20Wave%20Propagation%3A%20An%20Introduction%20for%20the%20NonSpecialist%2C%20Springer%2C%202008.&f=false>
- D. M. Pozar (2012). “Microwave Engineering” Wiley Obtenido de: <http://bbs.hwrf.com.cn/downpeef/Microwave.Engineering,.David.M..Pozar,.4ed,.Wiley,.2012.pdf>

- EDUARDO PINTOS (2015). "PTP & PTP SERIES SOLUTIONS – Technical Course"
Obtenido de:http://www.microcom.com.ar/fotos/ficha7083PTP650SS_SPANISH%20EU.pdf
- Cambium Networks (2015). "USERGUIDE EPMP". Obtenido de:
www.balticnetworks.com/docs/ePMPuserGuide.pdf
- Comunidad de Cambium Networks (2017). "*Pruebas de cambium vs. ubiquiti*". Obtenido de:
http://community.cambiumnetworks.com/bstrc49894/attachments/bstrc49894/forums_epmp_1000/12606/1/UBNT%20RocketAC%20VS%20ePMP2000.pptx
- Comunicaciones UPC (2018). "*Bandas de frecuencia no licenciadas*". Obtenido de:
<https://comunicacionesupc.wordpress.com/2011/01/15/bandas-de-frecuencias-no-licenciadas/>
- Cambium Networks (2013). "*Serie PTP650*". Obtenido de:
http://www.microcom.com.ar/fotos/ficha7083PTP650SS_SPANISH%20EU.pdf
- Radio waves (2015). "*2FT dual-polar parabolic RDH4503*". Obtenido de:
<https://www.radiowaves.com/getmedia/11e7b6fb-aae3-4940-8292-e9a59a827e91/SP2-2-5.aspx>
- Faini telecommunications, (2018). "0.8m dual-polar parabolics THP 8-0525D". Obtenido de:
http://www.advantec.it/wp-content/uploads/Antenna_HP_08_0525_D.pdf
- Cambium Networks (2017). "3ft dual-polar parabolics RDH4509". Obtenido de:
<https://3fdumf3rqw5xx4mjgywguwz9-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/Spec20Sheet20-20HPDualPolePRA.pdf>
- Cambium Networks (2017). "3ft dual-polar parabolics RDH4508". Obtenido de:
<https://3fdumf3rqw5xx4mjgywguwz9-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/Spec20Sheet20-20HPDualPolePRA.pdf>
- Cambium Networks (2014). "ePmP 1000conectorizado". Obtenido de:
<https://www.balticnetworks.com/docs/CN-EPMP1000-Connectorized-Radio-SS-040414.pdf>

Cambium Networks (2014). “ePmP 1000conectorizado”. Obtenido de:
<https://www.balticnetworks.com/docs/CN-EPMP1000-Connectorized-Radio-SS-040414.pdf>

Cambium Networks (2015). “ePmP Force180”. Obtenido de:
<https://www.uwave.com.my/wp-content/uploads/2017/10/ePMPForce180.pdf>

Cambium Networks (2015). “ePmP Force200”. Obtenido de:
<http://site.microcom.us/c024900c161a.pdf>

Cambium Networks (2016). “ePmP sector antena”. Obtenido de:
https://www.azotel.com/00_Az_Docs/radio_equipment/201703_ePMP-5GhzAnt.pdf